Berlijn 1976

H. J. Lohmerbach

Zur Problematik der Modellierung in der Ökonomie mit Hilfe von Analogmodellen

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr.oec.)

vorgelegt

der Gesellschaftswissenschaftlichen Fakultät
des Wissenschaftlichen Rates
der Humboldt-Universität zu Berlin

von Diplom-Ingenieur Hans-Jürgen S ch m e r b a c h
geb. am 07.02.1943 in Schmölln

Dekan: Prof. Dr. sc. John L e k s c h a s
Gutachter: Prof. Dr. habil. Siegfried A p e l t
Dr. oec. Hartmut S c h u l t z e
Dr. oec. Walter Z i e m e r

Berlin, März 1976 20. Mai 1976

Inhaltsverzeichnis

		Seite
0.	Vorwort	1
1.	Der Modellbegriff und seine historische Herausbildung	5
1.1	Erkenntnistheoretische Grundlagen des Modellbegriffs	5
1.2	Herausbildung des Modellbegriffs	7
1.3	Klassifikationsmöglichkeiten von Modellen	11
1.3.1	Ideelle Modelle	15
1.3.2	Materielle Modelle	17
1.3.3	Klassifikation nach Stoff	23
1.3.4	Klassifikation nach Klaus	25
1.3.5	Eine Modellnomenklatur der Akademie der Wissenschaften der UdSSR	29
1.4	Modellmerkmale und ihr Nutzen für die Praxis	32
2.	Modelle in der Ökonomie	36
2.1	Notwendigkeit der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen	36
2.2	Klassische Modelle der Ökonomie	42
2.2.1	Das "Tableau economique" von F. Quesnay	43
2.2.2	Die Marxsche Reproduktionstheorie	47
2.3	Hilfsmittel bei der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen	50
2.3.1	Grundlagen der Regelungstheorie und Möglichkeiten ihrer Anwendung	50

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547617_0026

		Seite
2.3.2	Der Regelkreis und das Schema der einfachen Reproduktion	56
2.3.3	Eine Klassifikationsmöglichkeit ökonomisch-mathematischer Modelle	61
2.4	Ökonomisch-mathematisch-kybernetische Modellierung	69
2.4.1	Große Systeme	69
2.4.2	Automatisierte Systeme der Leitung	71
3.	Anwendung des Analogieprinzips bei der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen	74
3.1	Der Begriff des Analogmodells	74
3.2	Vor- und Nachteile der Anwendung des Analogieprinzips	76
3.3	Nutzung elektrischer Schaltungen zur Model - lierung	80
3.3.1	Modellierung mit Hilfe von Reihen-schaltungen	83
3.3.2	Modellierung mit Hilfe von Parallelschal-tungen	86
3.3.3	Das System ursadyn	87
3.3.4	Möglichkeit der Modellierung einer Pro-duktionsfunktion	92
3.4	Anwendungsmöglichkeiten von Analogmodellen in Forschung und Lehre	98
4.	Schlußbetrachtung	103
5.	Literaturverzeichnis	109

0. Vorwort

Im Entwurf der Direktive des IX. Parteitages der SED zur Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR von 1976-1980 wird ausgehend von den gesellschaftlichen und ökonomischen Erfordernissen als ein Schwerpunkt der naturwissenschaftlich-technischen und mathematischen Grundlagenforschung die "Erarbeitung naturwissenschaftlicher, mathematischer und kybernetischer Grundlagen zur effektiven Beherrschung materieller und formalisierbarer geistiger Prozesse und ihrer zunehmenden Automatisierung in vielen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens als entscheidende Voraussetzung für eine rationellere Gestaltung dieser Prozesse"[1] genannt.

Die Erarbeitung dieser Grundlagen dient dem Ziel, die sozialistische Wirtschaft so zu entwickeln, daß die weitere Vervollkommnung der Leitung und Planung zu einer planmäßigen proportionalen Entwicklung der Volkswirtschaft und damit zu einer hohen Effektivität des volkswirtschaftlichen Reproduktionsprozesses führt.

Im Entwurf des Programms der SED wird der zentrale Platz des Volkswirtschaftsplanes im System der Leitung, Planung und ökonomischen Stimulierung betont und hervorgehoben, daß die Planung auf der "Ausnutzung der objektiven ökonomischen Gesetze des Sozialismus und der neuesten wissenschaftlichen Kenntnisse"[2] beruht.

---

1) Entwurf der Direktive des IX. Parteitages der SED zur Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR 1976-1980, ND vom 15.1.1976

2) Entwurf des Programms der SED, ND vom 14.1.1976

Bestimmend für das Tempo der ökonomischen Entwicklung (Steigerung des Nationaleinkommens, der Erhöhung der Reallöhne, der Bedürfnisbefriedigung usw.) ist die Erhöhung der Effektivität der gesellschaftlichen Produktion. Das Ergebnis des Leitungs- und Planungsprozesses der Volkswirtschaft hängt davon ab, wie genau und umfassend die objektiven ökonomischen Prozesse erfaßt und die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt werden.

Wegen der Komplexität und Kompliziertheit ökonomischer Prozesse und Erscheinungen stellt ihre möglichst vollständige Erfassung ein sehr schwieriges Problem dar.

Zur Lösung dieses Problems ist deshalb die Anwendung ökonomisch-mathematischer Methoden und Modelle notwendig.

Dabei müssen die ökonomisch-mathematischen Methoden so angewendet werden, daß sie zur Verbesserung und Rationalisierung der Leitungs- und Planungsarbeit beitragen, insbesondere zum sachkundigen Treffen erforderlicher Entscheidungen. Das wurde auch im Entwurf der Direktive des XI. Parteitages der SED betont.

Die Anwendung ökonomisch-mathematischer Methoden ist mit der Erarbeitung ökonomisch-mathematischer Modelle verknüpft. In diesen Modellen werden Ausschnitte der objektiven Realität, in unserem Falle objektiv existierende ökonomische Prozesse und Erscheinungen mit dem Ziel abgebildet, sie mathematischen Verfahrensweisen zugänglich zu machen.

In der vorliegenden Arbeit werden in drei Abschnitten Probleme der Modellierung untersucht, wobei ausgehend von den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Modellbegriffs über die Darstellung von Modellen in der Ökonomie der Weg zur Modellierung ökonomischer Prozesse auf der Grundlage der Anwen-

dung des Analogieprinzips gezeigt wird.

Das erste Kapitel gibt von den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Modellbegriffs aus und gibt einen kurzen Abriß der historischen Entwicklung und Herausbildung von Modellen. Weiterhin wird der Versuch unternommen, Modelle nach verschiedenen bzw. Eigenschaften zu ordnen, die allen Modellen gemeinsam sind.

Für die Darstellung von Modellen in der Ökonomie soll die Notwendigkeit der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen begründet werden.

Die Darstellung des "Tableau economique" von F. Quesnay und der Marx'schen Reproduktionstheorie, also klassischer ökonomischer Modelle, führt zur Beschreibung von Hilfsmitteln bei der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen. Dabei wird auf Fehler und Trugschlüsse hingewiesen, die bei ungenügender Kenntnis des zu modellierenden Objektes auftreten können.

Der mit "Ökonomisch-mathematisch-kybernetische Modellierung" überschriebene Teil des zweiten Kapitels beinhaltet Untersuchungen von immer aktueller werdenden Problemen, nämlich "Große Systeme" und "Automatisierte Systeme der Steuerung".

Als Abschluß wird ein Überblick der Einordnung ökonomisch-mathematischer Modelle gegeben.

Im dritten Kapitel werden Modelle vorgestellt, die auf der Grundlage der Anwendung des Analogieprinzips entstanden sind. Es werden Vor- und Nachteile der Anwendung dieses Prinzips [illegible] und elektrische Analogien als Möglichkeit der Modellierung vorgeschlagen.

Am Beispiel einer Produktionsfunktion werden Anwendbarkeit und Funktion derartiger Gestaltungen gezeigt und im Anschluß daran die Anwendungsmöglichkeiten von Analogmodellen

in Forschung und Lehre untersucht.

Die Schlußbetrachtungen geben einen Ausblick auf mögliche Entwicklungsrichtungen und Anwendungsmöglichkeiten von Analogmodellen.

Anliegen der vorliegenden Arbeit ist es, ausgehend von der Notwendigkeit des Einsatzes ökonomisch-mathematischer Modelle nach Möglichkeiten zu suchen, bestimmte ökonomische Prozesse mit Hilfe einfacher elektrischer Schaltungen zu modellieren. Dabei mußte von allgemeinen Grundlagen der Modellierung ausgegangen werden, bevor der Schritt zur Beschreibung ökonomischer Modelle erfolgen konnte.

An dieser Stelle dankt der Verfasser allen, die ihn beim Anfertigen der vorliegenden Arbeit auf die verschiedenste Weise unterstützt haben.

Ganz besonderer Dank des Verfassers gilt Herrn Professor Dr. habil. Carl Otto, Leiter der Sektion Statistik an der Sektion Wirtschaftswissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin, für die ihm zuteil gewordene Hilfe und Unterstützung.

Ebenfalls dankt der Verfasser besonders den beiden Gutachtern Herrn Prof. Dr. habil. Siegfried Apelt, Herrn Dr. Walter Ziemer und Herrn Dr. Hermann Schultze, die ihn durch wertvolle konstruktive und kritische Hinweise und Ratschläge beim Abfassen der Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Dank gilt auch allen Mitarbeitern der Sektion Statistik, die dem Verfasser zahlreiche Anregungen und Hinweise gaben und somit Anteil an der Fertigstellung dieser Arbeit haben.

1. Der Modellbegriff und seine historische Herausbildung

1.1 Erkenntnistheoretische Grundlagen des Modellbegriffs

Die dialektisch-materialistische Erkenntnistheorie ist ein Wesenszug der marxistisch-leninistischen Weltanschauung. Sie beruht auf den praktischen und theoretischen Bedürfnissen der Arbeiterklasse und "dient ihr als Mittel der Erkenntnis und der Umgestaltung der Welt im Sinne ihres historischen Zieles, des Kommunismus."[1)]

Die Erkenntnistheorie ist Bestandteil der marxistischen Dialektik. Sie beschäftigt sich mit der Widerspiegelung der objektiven Realität im Bewußtsein des Menschen. Dabei wird die Erkenntnis als dialektischer Entwicklungsprozeß betrachtet.

Die Anfänge erkenntnistheoretischer Überlegungen reichen bis zur antiken griechischen Philosophie zurück. Parmenides kann als Begründer der Erkenntnistheorie angesehen werden, Demokrit als einer der bedeutendsten Vertreter der materialistischen Linie.

Das Abbild ist ein Grundbegriff der materialistischen Erkenntnistheorie. Es bezeichnet die Formen, in denen das menschliche Bewußtsein die objektive Realität im Erkenntnisprozeß aufnimmt. Die Abbildtheorie gilt in ihrer dialektisch-materialistischen Ausprägung als Kernstück der marxistisch-leninistischen Erkenntnistheorie.

Ihr Ausgangspunkt ist, daß die objektive Realität als Erkenntnisgegenstand, unabhängig und außerhalb vom Menschen,

---

1) G. Klaus, M. Buhr: Philosophisches Wörterbuch, Leipzig 1964, S. 132

2) Vgl. ebenda, S. 1

den untersuchenden und erkennenden Subjekt realisiert. Grundlage des Abbildungsprozesses im menschlichen Bewußtsein ist die gesellschaftliche Praxis. Dabei geht es nicht ausschließlich um ein Abbilden von Erscheinungsformen der objektiven Realität im Bewußtsein des Menschen, sondern auch um ein ständiges Überprüfen und Korrigieren von Abgebildetem und Abzubildendem, denn die Praxis ist das entscheidende Kriterium für die Überprüfung des Grades an Übereinstimmung.

Der Widerspiegelungsprozeß der objektiven Realität im menschlichen Bewußtsein wird als subjektive Dialektik bezeichnet. Die objektive Dialektik ist die Gesetzmäßigkeit von der allgemeinsten Entwicklungsgesetzen der objektiv existierenden Welt. Diese Welt bildet einen universellen Zusammenhang, in welchen alle Dinge und Erscheinungen miteinander verbunden sind und sich gegenseitig bedingen. Die objektive Realität befindet sich in all ihren Erscheinungsformen - Natur, Gesellschaft und Denken - in einem Zustand ständiger und unaufhörlicher Bewegung und Entwicklung.

Ein Ergebnis des erkenntnistheoretischen Prozesses stellt das Modell dar. Dabei gehen wir davon aus, daß allen Modellen die Eigenschaft gemeinsam ist, die objektive Realität in irgendeiner Form widerzuspiegeln. Modelle bilden Objekte und Relationen der Wirklichkeit in bestimmter Form ab. Ihre erkenntnistheoretische Funktion besteht darin, daß auf der Grundlage des Modells Aussagen über den modellierten Gegenstand als Ausschnitt der objektiven Realität gemacht werden können. Dabei reicht die Anwendung von Modellen heute über den naturwissenschaftlichen Bereich weit hinaus. Mehr und mehr finden wir Modelle als Ergebnis des erkenntnistheoretischen Prozesses auch in den Gesellschaftswissenschaften.

Die erweisen sich aber nur dann als wertvolles Hilfsmittel, wenn ihr Einsatz sinnvoll und den jeweiligen Möglichkeiten entsprechend erfolgt.

Ausgehend von Engels [67], der schon in der "Dialektik der Natur" auf die Abhängigkeit der Entwicklung der Wissenschaft von den historisch konkreten Bedingungen der jeweiligen Gesellschaftsformation hinwies, wird in der vor uns liegenden Etappe der gesellschaftlichen Entwicklung "noch mehr als bisher von den Leistungen in Wissenschaft und Technik und von der Beherrschung der Dialektik von Produktion, Wissenschaft und Leitung der gesamtgesellschaftlichen Prozesse abhängen."[1)]

Entsprechend der genannten Bedeutung der Ökonomie für die Entwicklung der Gesellschaft ist es notwendig, nach Möglichkeiten und Nutzen des Einsatzes von Modellen in wirtschaftswissenschaftlichen Disziplinen zu suchen. Modelle sind Ausdruck und Ergebnis eines erkenntnistheoretischen Prozesses und wertvolle Hilfsmittel bei der Erfassung ökonomischer Sachverhalte sowie bei der Umsetzung gewonnener Erkenntnisse in die Praxis.

1.2 Herausbildung des Modellbegriffs

Das Wort "Modell" hat seinen Ursprung im Lateinischen und bedeutet dort soviel wie Maß, Bild, Weise, Art. Die Deutung "Bild" kommt der heutigen Erklärung des Wortes "Modell" wohl am nächsten und macht auch verständlich, daß der Modellbegriff in fast allen europäischen Sprachen zur Bezeichnung eines Musters oder eines Dinges, das in irgendeiner Form einem anderen ähnlich ist, verwendet wird.

---

1) K. Hager: Die "Dialektik der Natur" von Friedrich Engels und ihre aktuelle Bedeutung, in "Humboldt-Universität", Berlin, Nr. 16-75/76, S. 12

Der vom Begriff Modell abgeleitete Prozeß der Modellierung hat eine große Bedeutung für die verschiedensten Wissensgebiete. Das Anwendungsgebiet reicht von den Gesellschaftswissenschaften über die Physik, die Elektrotechnik und Elektronik bis zu Problemen der Mechanik und Hydrodynamik, der Physiologie und Biologie usw. .

Entsprechend der breiten Verwendung des Modellbegriffs existiert natürlich auch eine Vielzahl von Definitionen und Erklärungen für ihn und für den Prozeß der Modellierung, also den Aufbau von Modellen.

Im Anfang der Betrachtung unterschiedlicher Modelltypen und ihren besonderen Eigenschaften wollen wir einen kurzen historischen Abriß der Entstehung und Verbreitung von Modellen geben. Wir wollen auch auf die Bedeutung der Mathematik bei der Aufstellung von Modellen eingehen. Diese ermöglicht es, bei richtiger Anwendung ihrer Methoden nicht nur qualitative Aussagen über das zu modellierende Objekt zu machen, sondern bestehende Zusammenhänge auch quantitativ zu erfassen.

Seit jeher strebt der Mensch danach, die Erscheinungen und Prozesse in der Natur und Gesellschaft erkennen und erklären zu können. Dabei ging es anfangs um Naturerscheinungen, um die Himmelskunde, aber auch um die Stoffe und Elemente, denen der Mensch begegnete.

Die Vorstellungen, die in der Antike von Heraklit und Demokrit (460-360 v.u.Z.) über die Beschaffenheit von Stoffen gemacht wurden, lassen sich als Denkmodelle auffassen, die einen wesentlichen Einfluß auf die Entwicklung der Naturwissenschaften genommen haben. Demokrit setzte nämlich unteilbare kleine Teilchen, die Atome, die sich in ständiger Bewegung befinden sollen, an die Stelle der sinnlich-konkret ver-

standenen Unmalerei des Voyers. Auf der Theorie Demokrits aufbauend, entwickelte John Dalton (1766-1844) die Grundlagen der Atomtheorie, die Niels Bohr (1885-1926) mit seinem Atommodell vervollständigte. Diese Entwicklung setzte sich bis zur heutigen modernen Atomphysik fort.

Ähnliche Entwicklungen finden wir auch in vielfachen anderen Wissensgebieten. Nennen wir als Beispiel nur die Vorstellungen über die Stellung der Erde im Sonnensystem und im Weltraum oder die Betrachtungen über Form und Beschaffenheit der Erde selbst, worüber viele Modellvorstellungen existieren.

Die Entwicklung der Kybernetik hat einen Anteil daran, daß sich der Terminus Modell stark unter Mathematikern, aber auch Technikern, Physikern und Chemikern, Biologen, Ökonomen und Vertretern weiterer Wissenschaften verbreitete. Dabei ist aber festzustellen, daß keine eindeutige Definition des Modellbegriffes vorliegt, daß die Deutung dieses Begriffs stark variiert.

Wir weisen an dieser Stelle auf interessante Untersuchungen hin, die Yuen Ren Chao, ein Linguist einer kalifornischen Universität, anstellte. "Er untersuchte nur 15 hauptsächlich linguistische Kontexte und stellte fest, daß allein in ihnen der Terminus Modell in dreißig Bedeutungen, die seiner Meinung nach einander ähnlich waren und noch weiteren neun verschiedenen Bedeutungen gebraucht wurde. Unter ihnen waren solche Bedeutungen dieses Terminus wie Struktur, Beschreibung, Methode der Übersetzbenutzung, Grammatik, Theorie, Schema, Stil, analogon, formalisierte oder teilweise formalisierte Theorie, psychologische Hilfsmittel zur Theorie, mögliche Realisierung für die Theorie, Vorbild, konkretes System, physisches Objekt, Realität usw.. Wenngleich der von Yuen Ren Chao gelieferte Überblick sehr oberflächlich und analysebedürftig ist, so gibt er doch eine

gutes Illustration für die oben angemerkte Vielschichtigkeit des Terminus Modell."[1]

Der Begriff "Modell" wird auch auf Objekte und Sachverhalte angewandt, die bereits auf andere Art und Weise beschrieben wurden und für die besser Begriffe wie Abstraktion, Schematisierung oder Idealisierung gewählt werden.

Sport [illegible] sagte zum Modellbegriff, zu seiner Natur und zu seinem Inhalt folgende Aussage:

"Wir wollen nochmals bemerken, daß Terminus und Begriff des Modells von uns im Sinne eines Mittels oder einer Form der Erkenntnis benutzt werden. Daher lassen wir alle Fälle außer acht, wo in der Produktion Modelle als Standardmuster einer Serie von Produktionsmaschinen benutzt werden. Wir klammern auch alle Fälle aus, wo der Terminus 'Modell' Bedeutung für jedes Muster und Etalon steht.

Im wesentlichen werden wir davon ausgehen, daß alle Modelle die gemeinsame Eigenschaft haben, in irgendeiner Form die Wirklichkeit widerzuspiegeln. In Abhängigkeit davon, wie mit welchen Mitteln, unter welchen Bedingungen, auf welche Erkenntnisobjekte bezogen sich diese ihre allgemeine Eigenschaft realisiert, entsteht eine große Vielfalt von Modellen, die sich nach Inhalt und Typen, nach Ziel und Bestimmung, nach dem Material, aus dem sie konstruiert sind und nach dem Charakter der Wechselbeziehung zwischen Modell und Original unterscheiden."[2]

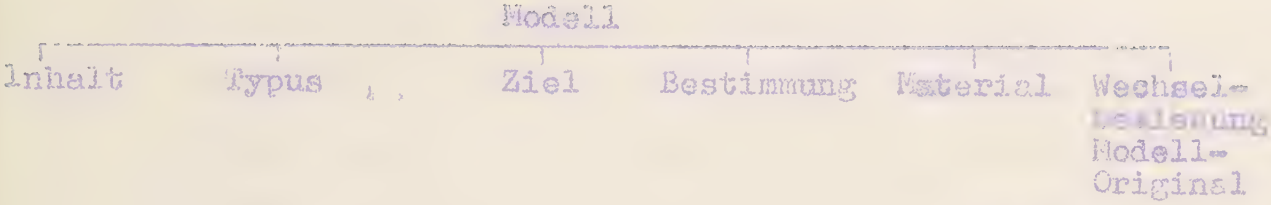
Diese Aussage ist die Grundlage des folgenden Schemas, welches die gemeinsamen bzw. unterschiedlichen Merkmale von Modellen ent-

---

1) V.A. Stoff: Modellierung und Philosophie, Akademie-Verlag, Berlin 1969, S. 17ff

2) A.a.O., S. 36

hält:



Wir halten diese Unterscheidungsmerkmale für sehr umfassend und aussagekräftig. Es muß aber beachtet werden, daß diese Merkmale als Ganzes betrachtet werden müssen, weil sie nur im Verbund miteinander verknüpft sind. So zum Beispiel lassen sich die Fragen nach dem Ziel, das mit einem Modell erreicht werden soll und nach der Bestimmung, der es übergeben wird, nicht voneinander trennen. Genauso bedingen Inhalt und Ziel eines Modells in einem bestimmten Maße das Material, aus dem es hergestellt wird. Wir werden diesen Gedanken später weiterverfolgen.

Im folgenden wollen wir uns mit der Klassifikation von Modellen beschäftigen.

1.3 Klassifikationsmöglichkeiten von Modellen

Erinnern wir uns der Feststellung, daß Modelle zur Erkenntnisgewinnung dienen und daß sie stets ein objektiv existierendes Objekt zu einem bestimmten Grad widerspiegeln. Diese Aussage sehen wir deshalb als sehr wichtig an, weil sie festlegt, daß Modelle eben nur dann und nur dort eingesetzt bzw. aufgebaut werden sollen, wo es darum geht, Erkenntnisse zu gewinnen. Diese Aussage verneint den Aufbau von Modellen "um jeden Preis", der nichts Neues bringt, stattdessen aber einen mitunter beträchtlichen Arbeitsaufwand erfordert.

Ein Modell soll folgende Kriterien erfüllen:

1. es wird das modellierte Objekt in bestimmter Richtung wider-

spiegeln oder vertreten können.

2. Die beim Modellaufbau gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, Wesentliches vom Unwesentlichen zu trennen. Dem Modellaufbau liegt demnach ein Abstraktionsprozeß zugrunde.

3. Aus dem Modell (seiner Struktur, Verzweigungen, Funktion usw.) müssen sich Rückschlüsse auf die entsprechenden Eigenschaften des modellierten Objektes ziehen lassen.

4. Die durch das Studium eines Modells gewonnenen Erkenntnisse können dazu benutzt werden, das modellierte Objekt in Struktur, Verhalten, Funktion usw. zu verbessern.

Beim Aufbau eines Modells selbst kommt es darauf an, das entsprechend Einsatzgebiet und Zweckbestimmung des Modells der Modelltyp gewählt wird, der alle geforderten Merkmale wiedergibt. Dabei sollte das Modell aber je nach Situation einfacher, billiger, leichter beschreibbar oder weitreichender als das Original sein. In den seltensten Fällen gelingt es, sofort ein Modell aufzubauen, das allen gestellten Forderungen genügt. Vielmehr vollzieht sich ein Erkenntnisprozeß, in dessen Verlauf ein solches Modell entsteht, das die objektive Realität so genau widerspiegelt, wie es gewünscht wurde. Innerhalb dieses Erkenntnisprozesses bestehen Wechselwirkungen zwischen dem zu modellierenden Objekt der objektiven Realität (in der folgenden Abbildung Objekt genannt), dem Menschen und dem Modell. In Abb. 2 wurde der Prozeßablauf veranschaulicht.

Grundlage unserer Modellklassifikation ist die materialistische Auffassung des Modells als Mittel der Widerspiegelung der objektiven Realität, also der Reproduktion eines bestimmten Wirklichkeitsbereiches zum Zweck seiner tieferen Erkenntnis.[1]

---

1) V.A. Stoff, ebenda, S. 36

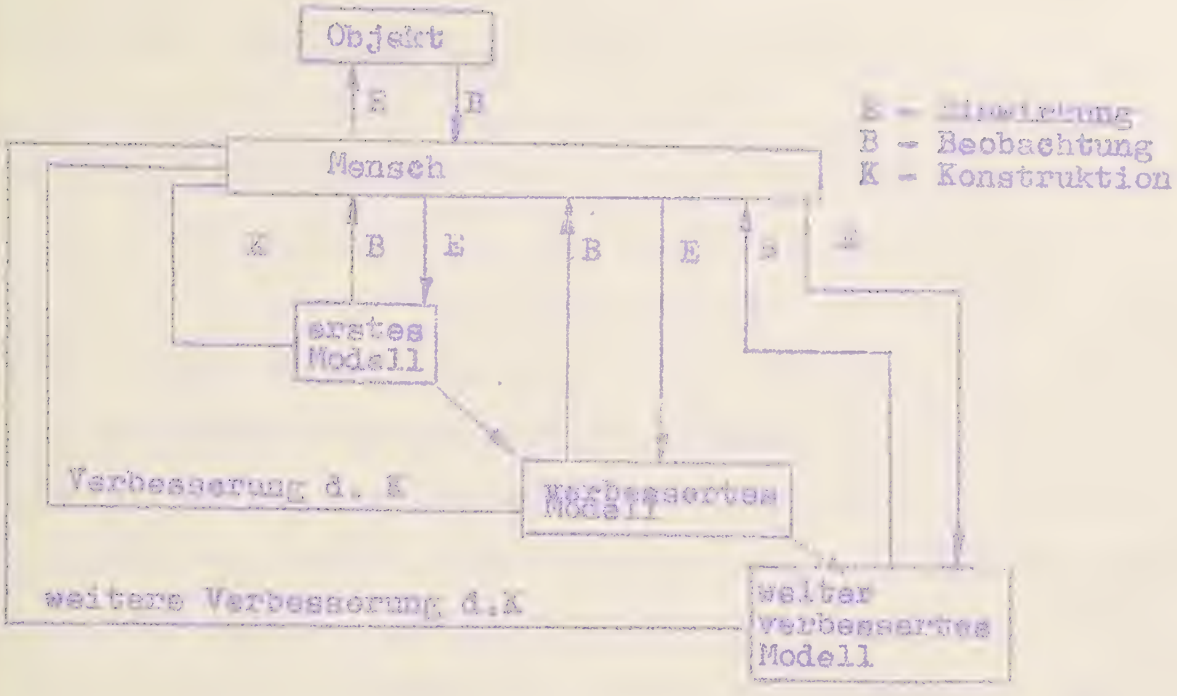


Abb. 2[1)]

Das Verhältnis zwischen Original (Widergespiegelten) und Modell (Widerspiegelndem) steht also im Mittelpunkt der Betrachtungen.

Die beiden ersten großen Klassen, in die wir die Modelle einteilen, sind 1. materielle (wirkliche, reale, stoffliche) und 2. ideelle (gedankliche, imaginäre, vorgestellte) Modelle. Diese beiden Klassen sind eng miteinander verbunden, da der Mensch ein Modell zunächst in seinen Gedanken aufstellt, es begründet und soweit ausarbeitet, daß es sich als materielles Modell darstellen, also aus irgendeinem Material anfertigen läßt. Marx sagt dazu: "... Was aber von vornherein den schlechtesten Baumeister von der besten Biene auszeichnet, ist, daß er die Zelle in seinem Kopf gebaut hat, bevor er sie in Wachs baut. Im Ende des Arbeitsprozesses kommt ein Resultat heraus, das beim Beginn desselben schon in der Vorstellung des

---

1) G. Klaus: Wörterbuch der Kybernetik, Berlin 1967, S. 422

Arbeiters, also schon ideell vorhanden war."[1]

Ideelle Modelle existieren, bevor sie auf der Grundlage menschlicher praktischer Tätigkeit zu materiellen Modellen werden, zunächst im Kopfe des Menschen. Diese ideellen Modelle, die wir als Abbilder der objektiv existierenden Realität bezeichnen, bleiben auch dann noch ideell, wenn sie in Form von Zeichnungen, Skizzen, Schemata oder Schaubildern vorliegen. Der ideelle Charakter dieser Modellvorstellungen beschränkt sich demnach nicht nur auf die gedankliche Konstruktion. "Sie können auch deshalb als ideell bezeichnet werden, weil selbst dann, wenn ihre Elemente und Beziehungen mit Zeichen, Zeichnungen oder anderen materiellen Mitteln fixiert werden, alle Veränderungen in ihnen, alle Übergänge in einen anderen Zustand, alle Umgestaltungen der Elemente gedanklich, d.h. im Bewußtsein des Menschen vollzogen werden."[2]

Das Entscheidende für die Definition eines ideellen Modells liegt also darin, daß die Betrachtungen, denen das Modell unterworfen wird, nicht im Bewußtsein des Betrachters und damit des Menschen vollziehen. Eine vollkommene Abgrenzung, die es ermöglicht, die Termini "materielles" und "ideelles Modell" exakt zu trennen, dürfte damit noch nicht gefunden sein.

Wir wollen als ideelle Modelle solche ansehen, die vor ihrer praktischen Umsetzung bereits im Kopfe des Menschen existieren. Alle Betrachtungen, denen diese Modelle unterworfen werden, vollziehen sich im menschlichen Bewußtsein.

---

1) K. Marx: Das Kapital, Bd. 1, Berlin 1951, S. 193

2) Vgl. V.A. Stoff, ebenda, S. 40

1.3.1 Ideelle Modelle

Die ideellen Modelle sind eng mit den materiellen verbunden. Sie sind, wenn der Aufbau eines materiellen Modells angegangen wird, als Vorstufe dessen Modelle aufzufassen. Nicht in jedem Falle aber müssen ideelle Modelle in die Praxis umgesetzt werden, vielmehr bilden sie oft für den Untersuchenden den Ausgangspunkt für neue und weitergehende Betrachtungen des Untersuchungsgegenstandes.

Die ideellen Modelle lassen sich in zwei Hauptgruppen und eine Zwischengruppe einteilen. Dieser Unterteilung liegt die Einschränkung zugrunde, daß diese Modelle nur nach der Art ihres Aufbaus, ihrer Form, untersucht werden.

Der ersten Hauptgruppe werden bildliche oder ikonische Modelle zugeordnet. Diese Modelle bestehen aus ziemlich anschaulichen Elementen, die "eine gewisse Ähnlichkeit mit den entsprechenden Elementen der modellierten realen Erscheinung aufweisen. Diese Ähnlichkeit erstreckt sich nicht auf Ähnlichkeit zwischen den räumlichen Beziehungen der Modellelemente und den Elementen des Objekts, sondern erstreckt sich auch auf den Charakter der Bewegung und andere Eigenschaften."[1] Derartige Modelle lassen sich als Darstellung neuer und wenig oder nicht bekannter Prozesse und Erscheinungen durch schon bekannte Vorgänge, also als bildhafte (ikonische) Widerspiegelungen ansehen.

Zwei Momente kennzeichnen den bildlich-anschaulichen Charakter dieses Modelltyps:[2]

---

1) Ebenda, S. 41

2) Siehe auch ebenda, S. 42 u. ff.

1. Diese Modelle bestehen aus Elementen, die Abbild realer, konkreter und in bestimmtem Maße bekannter Gegebenheiten (Flüssigkeiten, Gase, geometrische Körper, Ströme, Spannungen usw.) sind. Diese Elemente sind einer unmittelbaren Beobachtung zugänglich.
2. In Modellen dieser Art sind einige Eigenschaften und Erscheinungen des modellierten Objekts durch die Sinnesorgane des Menschen wahrnehmbar. Die ikonischen Modelle geben also nicht nur Auskunft über die Anordnung der Elemente, vielmehr können sie die Elemente anschaulich widerspiegeln und auch Struktur und bestimmte Verhaltens- oder Funktionsweisen veranschaulichen. Sie können z.B. Bewegungsformen, Stabilität, zeitliche Reihenfolge und räumliche Anordnungsform der Elemente wiedergeben.

Die Modelle der zweiten Hauptgruppe werden als Zeichen- oder symbolische Modelle bezeichnet. Sie sind nicht immer so bildhaft wie die Modelle der ersten Hauptgruppe, weil hier die Elemente des Objekts, seine Eigenschaften und die Beziehungen zwischen den Elementen durch Zeichen wiedergegeben werden, die mit den Elementen keine Ähnlichkeit aufzuweisen brauchen. Der Zeichenauswahl wird ein pragmatischer Gesichtspunkt zugrunde gelegt. Die gewählten Zeichen ermöglichen es, "in ziemlich wahrnehmbarer, anschaulicher und übersichtlicher Form bestimmte Beziehungen des Objekts wiederzugeben".[1)]

Die in den beiden Hauptgruppen vorgestellten idealen Modelle lassen sich als Grenzfälle ansehen. Eine Vielzahl idealer Modelle verbindet die Eigenschaften beider Gruppen. Ein Beispiel

---

1) Ebenda, S. 44

dafür sind Molekülmodelle der chemischen Strukturtheorie. In einem solchen Molekülmodell verbinden sich Zeichenelemente (die jeweiligen Atomsymbole mit ihren Bindungsarmen) zu einem räumlichen (bei Darstellung in drei Dimensionen) bzw. zweidimensionalen Bild, das der Form des abgebildeten Moleküls entspricht.

1.3.2 Materielle Modelle

Nach den widerzuspiegelnden Eigenschaften des Objektes lassen sich drei Hauptgruppen materieller Modelle unterscheiden. Diese Eigenschaften können unter Umständen auch Merkmal mehrerer Gruppen sein.

In der ersten Hauptgruppe werden Modelle zusammengefaßt, die durch geometrische Ähnlichkeiten von Modell und zu modellierendem Objekt gekennzeichnet sind. Die Modelle dieser ersten Hauptgruppe widerspiegeln demnach die räumlichen Eigenschaften des Originals. Zu dieser Gruppe gehören beispielsweise Lagepläne, architektonische Entwürfe (von Häusern, Stränden, Städten) und räumliche Modelle von Molekülen und Kristallen in der Chemie und Werkstoffkunde.

Die Modelle der 2. Hauptgruppe bilden die Dynamik der untersuchten Prozesse ab. Sie beschäftigen sich nicht vorrangig mit den räumlichen Eigenschaften des Originals sondern sie bringen die unterschiedlichen Abhängigkeiten, gesetzmäßigen Zusammenhänge und Strukturen zum Ausdruck. Kennzeichnend für diese Gruppe ist die Existenz physikalischer Ähnlichkeiten von Modell und Original. Da nach Stoff "Gleichartigkeit oder Ähnlichkeit ihrer physikalischen Natur und Identität ihrer Bewegungsgesetze" vorausgesetzt wird, kann "das Verhältnis derartiger materieller Modelle zum widergespiegelten System

in Modell experimentellen Untersuchungen zugänglich gemacht werden.

Dieser Modelltyp hat eine sehr große Bedeutung, die nach Ansicht des Verfassers weiter wachsen wird. Die Begründung für diese Ansicht ist, daß diese Modelle bei der Simulation von zeitabhängigen Prozessen eine große Rolle spielen. Unter Simulation wollen wir dabei die Nachahmung der objektiv existierenden Realität im Modell verstehen, wobei das Verhalten des Modells mit dem des Originals unter gleichen Bedingungen annähernd übereinstimmt. Das Einsatzgebiet derartiger Modelle liegt u.a. in starkem Maße auf ökonomischem Gebiet (z.B. in Form von Planspielen, von Simulationsmodellen für Betriebe, für die Volkswirtschaft). Wir gehen an dieser Stelle nicht weiter auf diese Problematik ein, Überlegungen hierzu werden im 3. Kapitel dieser Arbeit angestellt.

Der dritten Gruppe materieller Modelle werden solche Modelle zugeordnet, die weder physikalische noch geometrische Ähnlichkeiten mit dem Original aufweisen. Zwischen Modell und Original besteht bei diesen Modellen ein reines Analogieverhältnis.

Unter Analogie verstehen wir dabei "eine solche Form des Denkens, die auf der Grundlage des Feststellens von Ähnlichkeit und Verschiedenheit eines Gegenstandes von einem anderen und der Untersuchung eines von ihnen zum Erhalten neuen Wissens über die Eigenschaften des untersuchten Gegenstandes führt oder die es erlaubt, eine beliebige angeführte Situation anschaulicher zu begründen".[1] (Übersetzung des Verfassers)

---

1) К. Е. Бахарев: Кибернетика и метод аналогий, Москва 1974, S. 16

Nach G. Klaus [27] liegen Analogieverhältnisse (oder Ähnlichkeiten) zwischen Systemen auf vier verschiedenen Ebenen:

1. auf der Ebene der Resultate, die die verglichenen Systeme erzielen;
2. auf der Ebene des Verhaltens oder der Funktionen, die zu diesen Resultaten führen;
3. auf der Ebene der Strukturen, die die Erfüllung dieser Funktionen ermöglichen;
4. auf der Materialebene oder Ebene der Elemente, aus denen die Strukturen bestehen.

"Die notwendige Voraussetzung für das Fortschreiten von der Analogie zur Identität ist die Übereinstimmung auf diesen vier Ebenen".[1)]

Aus dem Vorhandensein struktureller oder funktioneller Ähnlichkeiten können wir auf die "Existenz eines gemeinsamen mathematischen Formalismus schließen, der das Verhalten dieser Systeme beschreibt, die sich nach ihrem Wesen und nach den konkreten (physikalischen, chemischen, biologischen usw.) Gesetzen unterscheiden, aber nach bestimmten allgemeineren Struktur- oder Funktionsgesetzen ähnlich sind".[2)] Wegen des gemeinsamen "mathematischen Formalismus" bezeichnen wir diese Modelle als mathematische Modelle.

Betrachten wir als Beispiel die Differentialgleichung

$$a.\frac{d^2y}{dx^2} + b.\frac{dy}{dx} + cy = d(x) \qquad (1).$$

---

1) G. Klaus: Kybernetik in philosophischer Sicht, Berlin 1964, S. 246

2) V.A. Stoff: Ebenda, S. 39

Diese Gleichung setzt die gleiche Form auf wie die beiden folgenden DGL:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + D \cdot \frac{dx}{dt} + kx = F(t) \qquad (2)$$

und

$$L\frac{d^2q}{dt^2} + R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = e(t) \qquad (3)$$

Gleichung (2) drückt das Verhalten des in Abb. 3a gezeigten mechanischen Schwingungssystems aus, Gleichung (3) das Verhalten eines elektrischen Schwingkreises (Abb. 3b), der analog zum mechanischen System konstruiert wurde.

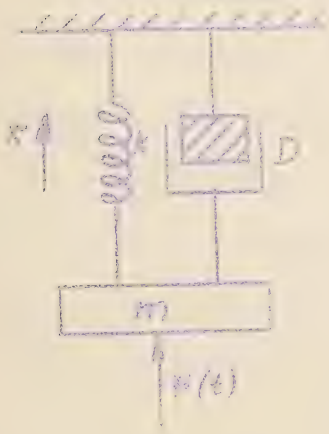


Abb. 3a

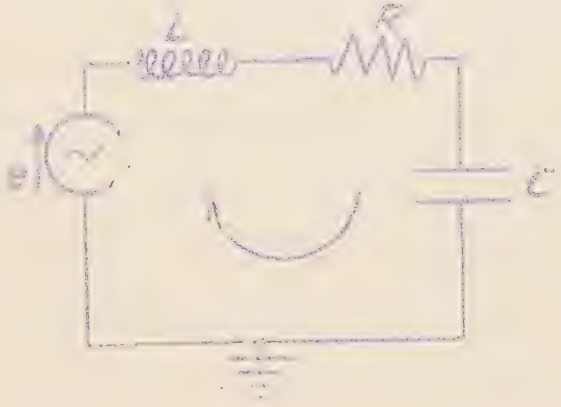


Abb. 3b

In Gleichung (2) geht man davon aus, daß bei Auslenkung der Masse m um einen Betrag s aus der Ruhelage heraus die Trägheitskraft der Masse m (nach dem 2. Newtonschen Axiom) gleich der Summe der wirkenden äußeren Kräfte ist. Die Grundlage dieser Darstellung bildet das Prinzip von D'Alembert, mit dessen Hilfe dynamische Vorgänge auf statische Gleichgewichtsbetrachtungen zurückgeführt werden.

Für den elektrischen Schwingkreis (Abb. 3b) gilt, daß die Summe des Spannungsabfalles im geschlossenen Stromkreis gleich Null ist.[1)]

1) Vgl. V.A. Stoff: Ebenda, S. 126 ff.

Nach der Klaus'schen Einteilung liegen für diesen Fall Analogien auf drei Ebenen vor, nämlich auf der Ebene der Resultate, der Ebene der Funktionen und der Ebene der Strukturen. Stoff weist darauf hin, daß in einander analogen Systemen bei qualitativer Verschiedenheit der Systemelemente (Fehlen des 4. Klaus'schen Merkmals, S. 20 dieser Arbeit) sowohl die Systemelemente selbst als auch die Beziehungen zwischen ihnen eindeutig sind. Damit ist es möglich, die zu untersuchenden Sachverhalte mathematisch identisch darzustellen [vgl. die Gleichungen (1) - (3)7, womit die Bedingungen der Isomorphie erfüllt sind.

Die Auffassung von Klaus bezüglich der genannten Analogieverhältnisse geht über die vom Verfasser zitierte Analogie-Definition des sowjetischen Wissenschaftlers Batorojeff [12] hinaus. Beschränkt sich Batorojeff lediglich auf eine Denkform und das Festlegen von Ähnlichkeiten bzw. Verschiedenheiten von Gegenständen, die zu neuem Wissen über den untersuchten Gegenstand führen, gibt G. Klaus vier Unterscheidungsmerkmale für Analogien (von ihm als vier Ebenen bezeichnet) an. Er wendet außerdem diese Merkmale auf Systeme und damit auch auf komplexe und sehr komplizierte Gebilde an.

Bei Übertragung der Klaus'schen Erkenntnisse auf die Modellierung ist es aufgrund der von Klaus aufgestellten Merkmale möglich, von vornherein beim Aufbau eines Modells festzulegen, wo zwischen Modell und zu modellierendem Objekt die Ähnlichkeiten liegen sollen. Das aber setzt sofort gewisse Prämissen hinsichtlich des einzusetzenden Modelltyps, seiner Eigenschaften, Genauigkeit usw.

1.3.3 Klassifikation nach Stoff

Die von Stoff angegebene Klassifikation für Modelle stützt sich auf ein erkenntnistheoretisch wesentliches Merkmal, nämlich auf die Art und Weise der Widerspiegelung der objektiven Realität durch das jeweilige Modell. Um weitgehender und genauer klassifizieren zu können wird es nötig sein, neben der Betrachtung der Wechselbeziehung von Modell und Original (Objekt) auch solche Unterscheidungsmerkmale wie Inhalt des Modells, Ziel und Zweckbestimmung in die Betrachtungen einzubeziehen. Stoff kommt zur in Abb. 4 dargestellten möglichen Einteilung von Modellen.[1)]

Zum Abschluß der Darlegung der Stoffschen Modellklassifikation sollen noch einige Gedanken zur Art der Wechselbeziehung zwischen Modell und Original geäußert werden. Es könnte der Eindruck entstehen, daß Modelle immer und in jedem Falle nur als Mittel zur Erkenntnisgewinnung über ein real existierendes Objekt Verwendung finden. Dem ist nicht so, denn oft dienen Modelle auch als Vorbild einer neu zu schaffenden Qualität der objektiven Realität.

Betrachten wir in diesem Zusammenhang die dritte Hauptgruppe der materiellen Modelle, die räumlich ähnlichen Modelle. Hierher gehören auch Lagepläne und Entwürfe, also beispielsweise auch in Form von Zeichnungen fixierte Vorstellungen neu zu schaffender bzw. zu verändernder Objekte. Diese Vorstellungen beruhen auf den bereits gewonnenen Erfahrungen beim Studium ähnlicher Objekte, den Entwicklungstendenzen, Erkenntnissen über Materialeinsatz, ökonomischen Erwägungen, dem wissens-

---

1) Ebenda, S. 48

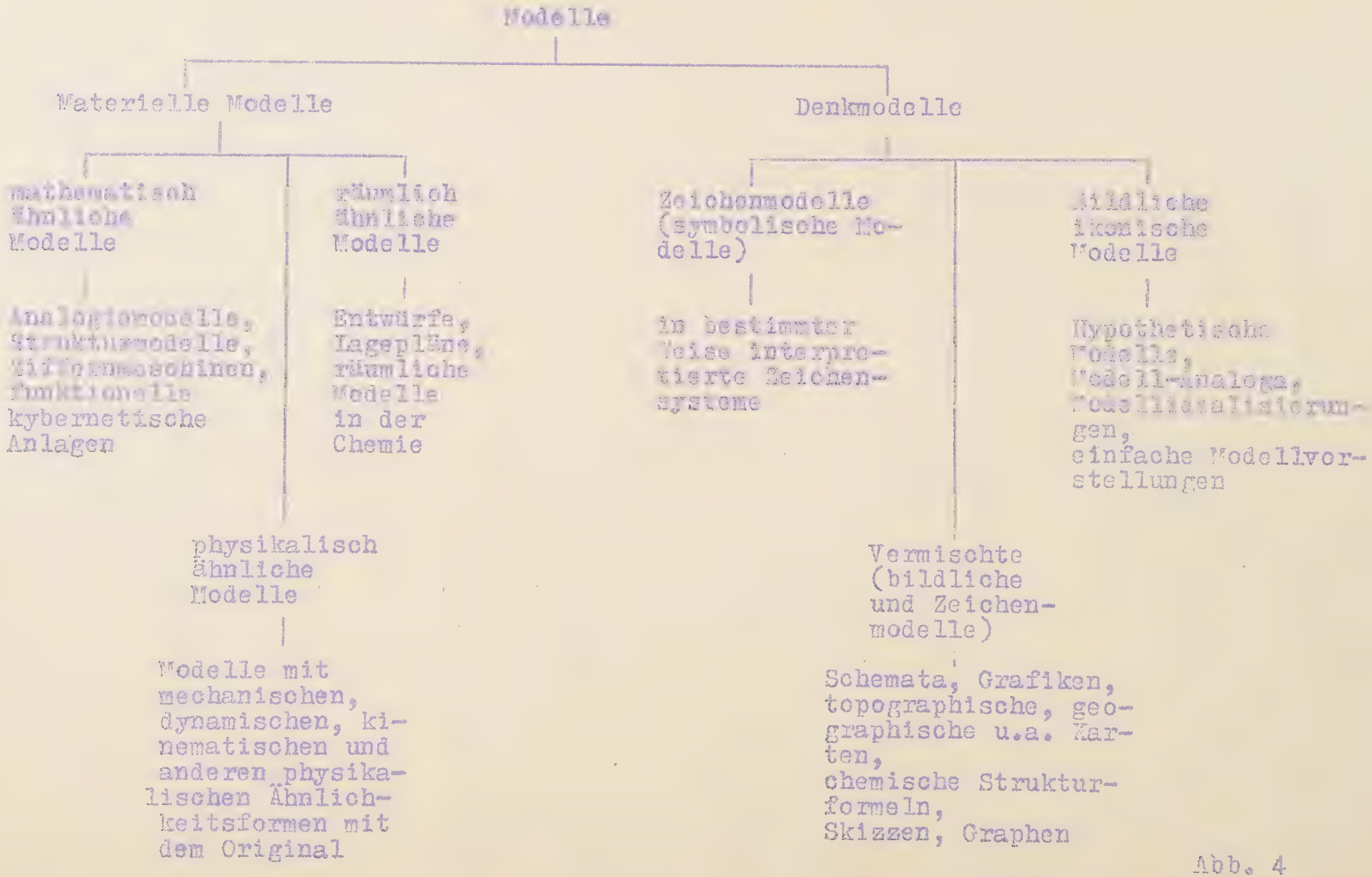

Modelle
Materielle Modelle
Denkmodelle
mathematisch ähnliche Modelle
Analogiemodelle, Strukturmodelle, Rechenmaschinen, funktionelle kybernetische Anlagen
räumlich ähnliche Modelle
Entwürfe, Lagepläne, räumliche Modelle in der Chemie
physikalisch ähnliche Modelle
Modelle mit mechanischen, dynamischen, kinematischen und anderen physikalischen Ähnlichkeitsformen mit dem Original
Zeichenmodelle (symbolische Modelle)
in bestimmter Weise interpretierte Zeichensysteme
Vermischte (bildliche und Zeichenmodelle)
Schemata, Grafiken, topographische, geographische u.a. Karten, chemische Strukturformeln, Skizzen, Graphen
Bildliche ikonische Modelle
Hypothetische Modelle, Modell-Analoga, Modellidealisierungen, einfache Modellvorstellungen

Abb. 4

stand des Betrachters und weiteren Faktoren. Diese möglicherweise in Form von Zeichnungen vorliegenden Betrachtungen sind für den- oder diejenigen, die die Modellvorstellungen in die Praxis umsetzen sollen, genaue Anweisungen. Letztendlich spiegelt auch ein solches räumlich ähnliches Modell das Original wider. An Modell können Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Verbesserung des Originals beitragen, bevor dieses überhaupt real existiert. Das aber ist genau der Weg, den bereits K. Marx im "Kapital" beschreibt, und dieses Denken zeichnet den Menschen gegenüber allen anderen Lebewesen aus.

1.3.4 Klassifikation nach Klaus

G. Klaus und M. Buhr schreiben: Ein Modell ist "ein Objekt, das auf der Grundlage einer Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie zu einem entsprechenden Original von einem Subjekt eingesetzt wird, um eine bestimmte Aufgabe lösen zu können, deren Durchführung mittels direkter Operationen am Original zunächst oder überhaupt nicht möglich bzw. unter gegebenen Bedingungen zu aufwendig ist".[1]

In dieser Definition erscheinen die Begriffe Modell, Original und Subjekt, die in einem bestimmten Zusammenhang miteinander zu sehen sind. In "Wörterbuch der Kybernetik"[2] finden wir die folgende Abbildung, die uns diese Zusammenhänge deutlich macht:

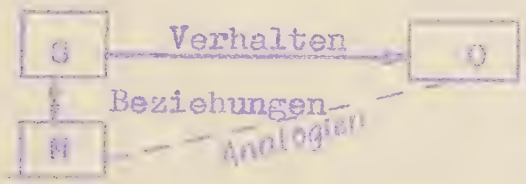


Abb. 5

1) G. Klaus, M. Buhr: Philosophisches Wörterbuch, Bd. 2, Leipzig 1974, S. 729

2) G. Klaus: Wörterbuch der Kybernetik, Berlin 1967, S. 445

In dieser Abbildung bedeuten:

S - Modellsubjekt (von Klaus als Kyb. System definiert),

M - Modell,

O - Objekt der Modellierung (Modelloriginal).

Klaus schränkt ein, daß M nur dann ein Modell eines Objektes O für S ist, wenn bei bestehenden Analogien zwischen M und O "informationelle Beziehungen zwischen S und M dazu beitragen können, Verhaltensweisen von S gegenüber O zu beeinflussen".[1]

Diese Modelldefinition ist stark von Erkenntnissen der Kybernetik beeinflußt. Unter Zugrundelegung der formalen Logik läßt sie sich als eine dreistellige Relation angeben. Das bedeutet, wie Klaus feststellt, "daß man nicht von einem 'Modell' schlechthin sprechen kann, sondern ein Modell immer erst bestimmt ist durch seine Beziehungen zu dem, wovon es Modell ist, und zu dem, wofür es Modell ist".[2] Dabei wird nichts ausgesagt über Art und Beschaffenheit von Original und Subjekt, ebenso über Art und Weise der gekennzeichneten Beziehungen und Verhaltensweisen. Hieraus resultiert die Notwendigkeit, Möglichkeiten zu schaffen, den recht allgemeinen Modellbegriff weiter zu spezifizieren.

Große Beachtung verdient die Aussage, daß ein Modell keinesfalls einem Abbild der Erkenntnistheorie gleichgesetzt werden darf. Ein Modell steht in keiner direkten kausalen Beziehung zum Objekt und wird stets unter dem Gesichtspunkt eines zweckbestimmten Einsatzes von Modellsubjekt geschaffen. Daß dabei das Modellsubjekt sowohl natürlichen als auch künstlichen Ursprungs sein kann, soll an dieser Stelle nur erwähnt werden.

---

1) und 2) Ebenda, S. 413

Klaus und Buhr geben vier Klassifizierungsmerkmale für Modelle an:[1]

1. Substratqualität;
2. Analogieinhalt;
3. erkenntnistheoretische Konstellation;
4. Modellfunktion.

Das 4. Merkmal wird in dieser Klassifikation als wichtigstes angesehen, danach folgen das 3. und das 2. Merkmal. Diese Reihenfolge wird mit einem Hinweis vom Einfachen zum Komplizierten begründet.

Wir beginnen bei der Unterscheidung des Modellsubstrats und unterteilen in natürliche (physikalische, chemische, biologische u.a.) und in gesellschaftlich-soziale, technisch-künstliche oder Zeichenmodelle. Weiterhin ist die Frage nach Gleichartigkeit bzw. Verschiedenheit der Qualität des Modellsubstrats und des Originalsubstrats zu beantworten.

Die Untersuchung des Analogieinhaltes (Analogien zwischen Modell und Original) führt uns zur Unterscheidung von Struktur-, Funktions- und Verhaltensmodellen. Diese Modelle lassen die verschiedensten Grade der Übereinstimmung des Modellsubstrates bezüglich des Originalsubstrates zu.

Die Betrachtung des 3. Punktes, der erkenntnistheoretischen Konstellation, führt zur Untersuchung von Subjekt, Original und Modell in Bezug auf die Objekt-Subjekt-Beziehung und damit zur Frage der Untersuchung der objektiven Realität und ihrer Widerspiegelung im Bewußtsein. An dieser Stelle erfolgt die Festlegung, ob beispielsweise Modell und Original objektiv

---

1) Vgl. G. Klaus, M. Buhr: Philosophisches Wörterbuch, Bd. 2, Leipzig 1974, S. 807 u. ff.

existieren, ob das Modell in Form von Zeichnen, als materielles oder gedachtes (ideelles) Modell vorliegt.

Für das 4. Merkmal, die Modellfunktion, finden wir acht Modellfunktionen, die wir näher betrachten wollen.

1. Erkenntnisfunktion: Aus dem Studium des Modells folgen neue Erkenntnisse über das Modell. Diese führen über Analogieschlüsse zu Hypothesen über entsprechende Eigenschaften des Originals, deren Wahrheitsgehalt und Anwendbarkeit schließlich überprüft werden muß.

2. Erklärungs- und Demonstrationsfunktion: Im Modell werden durch bekannte Vorgänge z.B. mittelbar darstellbare, aber bekannte Vorgänge im Original sichtbar gemacht (z.B. Fallbeispiele in Lehre und Ausbildung, Demonstrationsmodelle für physikalische Vorgänge u.ä.).

3. Indikationsfunktion: An derartigen Modellen können am Original selbst nicht zugängliche Eigenschaften sicht- bzw. meßbar gemacht werden (z.B. Modelle der Spontanoptik, Torsimulator u.ä.).

4. Variations- und Optimierungsfunktion: Modelle dieser Art erlauben es, unter Benutzung der "trial- und error-Methode" quantitative Optimierungen im Modell durchzuführen, die bei genügender Übereinstimmung von Modell und Original auf den gewünschten Gebiet (Struktur, Funktion, Verhalten) auf das Original übertragen werden können.

5. Verifikationsfunktion: Hypothesen oder vorhandene technische Konstruktionen werden an vereinfachten Modellen untersucht (Änderung des räumlichen Maßstabes, z.B. Untersuchung von Schwimm- oder Flugkörpern im Strömungs- bzw. Windkanal).

6. Funktion bei Projektierung (Konstruktion): Grundlage eines zu erarbeitenden oder herzustellenden Originals sind z.B.

Zeichen- oder Symbolmodelle oder Vorstellungen über das Original, die u.a. in Form tendenzieller Zeichnungen oder Entwürfe vorliegen können. Als wesentliche Quelle der Funktion eines solchen Modells ist der Arbeitsprozeß anzusehen, der auf einem idealen Modell beruht.

7. Steuerungsfunktion: Modelle mit dieser Funktion werden benutzt, um zu realisierenden Objekten über das Modellsubjekt als Führungsgröße zu dienen.

8. Ersatzfunktion: Hierher gehört eine Modellgruppe, die durch direkte Vertretung von Teilsystemen diese funktionell ersetzen kann (z.B. künstliche Organe oder menschliche Gliedmaßen, Herz-Lungen-Maschine u.ä.).

Diese angegebenen Klassifizierungsmerkmale mit ihren Unterteilungen sind nach Ansicht der Verfassers sehr umfassend und lassen eine eindeutige Festlegung eines Modells nach Inhalt, Typus, Ziel, Bestimmung, Material und der Wechselbeziehung zwischen Modell und Original zu. Sie ermöglichen eine eindeutige Einordnung von Modellen und sind umfassender als die von Stoff angegebenen Merkmale.

1.3.5 Darstellung einer Nomenklatur der Akademie der Wissenschaften der UdSSR

Das Komitee für wissenschaftlich-technische Terminologie der Akademie der Wissenschaften der UdSSR veröffentlichte 1973 eine Schrift, die sich mit den "Grundlagen der Ähnlichkeitstheorie und der Modellierung" [3] beschäftigt. Die Nomenklatur wurde in 5 Abschnitte eingeteilt, die folgende Unterteilungen umfassen:

1. Abschnitt: Grundbegriffe;
2. Abschnitt: Grundlegende Arten von Ähnlichkeiten;
3. Abschnitt: Grundlegende Modellarten;
4. Abschnitt: Grundlegende Arten der Modellierung,
5. Abschnitt: Ähnlichkeitskriterien, Größen, Fehler der Modellierung

Unser Hauptaugenmerk richten wir auf den 3. Abschnitt, ohne diesen aber losgelöst von den anderen Abschnitten zu betrachten. Das Herausgeberkollektiv sieht 15 Termini für ausreichend an, um die grundlegenden Modellarten darzustellen.[1)]

Nach der angegebenen Terminologie werden unterschieden:

1. Das komplexe Modell: Es befindet sich im Verhältnis einer vollständigen Ähnlichkeit zum zu modellierenden Objekt. Unter vollständiger Ähnlichkeit wird dabei eine Ähnlichkeit zwischen allen Elementen des zu modellierenden Objektes und des Modells verstanden, wobei die Übergangsfunktionen zwischen den Parametern keine wesentlichen Verzerrungen erleiden.
2. Das genäherte Modell: Es ist dem zu modellierenden Objekt annähernd ähnlich, d.h. es liegt keine vollständige Ähnlichkeit vor. Eine Verletzung der wechselseitigen eindeutigen Übereinstimmung zwischen Modell und zu modellierendem Objekt ist möglich, ebenso eine solche Verzerrung der Prozesse im Modell, die bei gegebener Aufgabenstellung annehmbar ist und analytisch oder experimentell bewertet wird.

---

1) Vgl.: Основы теории подобия и моделирования, Москва 1973, S. 10/11.

3. Das vollständige Modell: Es ist dem zu modellierenden Objekt vollkommen ähnlich, es liegt Ähnlichkeit zwischen allen Elementen, Prozessen und Funktionen von Objekt und Modell vor.

4. Das unvollständige Modell: Zwischen Objekt und Modell besteht keine vollständige Ähnlichkeit, d.h. die Ähnlichkeiten von Objekt und Modell liegen nur bei einem Teil der Elemente, Prozesse und Funktionen.

5. Das physikalische Modell: Die zwischen Objekt und Modell bestehenden Ähnlichkeiten sind physikalischer Natur.

6. Das Strukturmodell: Dieses Modell weist eine ähnliche Struktur wie das zu modellierende Objekt auf.

7. Das kybernetische Modell: In den Funktionen von Modell und Objekt liegen Ähnlichkeiten vor. Es wird unter dem Gesichtspunkt des Erhaltens ähnlicher Funktionen beim Einfluß entsprechender Einwirkungen betrachtet.

8. Das mathematische Modell: Modell und zu modellierendes Objekt sind sich mathematisch ähnlich, es besteht Ähnlichkeit zwischen den Größen, die in die mathematische Ausdrucksweise Eingang finden.

9. Das dynamische Modell: Zwischen Modell und Objekt gibt es eine dynamische Ähnlichkeit, sie ähneln sich in der Veränderung ihres Zustandes in einem zeitlichen Verlauf.

10. Das stochastische Modell: Modell und zu modellierendes Objekt weisen Ähnlichkeiten auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage auf.

11. Das geometrische Modell: Die Ähnlichkeit von Modell und Original liegt in der Geometrie begründet.

12. Das Symbolmodell: Das Modell widerspiegelt das Objekt auf der Grundlage von Zeichen bzw. Zeichensystemen.
13. Das logische Modell: Derartige Modelle unterliegen den Gesetzmäßigkeiten der Logik.

Die 13 in der Terminologie angegebenen Modellarten unterscheiden sich aufgrund ihrer Ähnlichkeiten zum zu modellierenden Objekt voneinander. Dabei sagen die ersten 4 Arten etwas über die Vollständigkeit der Ähnlichkeiten von Modell und Objekt aus, ohne auf die Möglichkeit des Herstellens dieser Ähnlichkeiten einzugehen (z.B. in Form physikalischer oder mathematischer Modelle). Die unter 5. bis 13. angeführten Modellarten lassen sich den ersten 4 Arten unterordnen, wenn man einschränkt, daß ein stochastisches Modell kein vollständiges bzw. komplexes Modell sein kann. Abschließend ist zu dieser Terminologie zu sagen, daß die wichtigsten Modellarten in ihr erfaßt und erklärt sind, man diese Aufstellung aber keinesfalls als Klassifikation ansehen darf. Sehr wertvoll ist aber die knappe und präzise Darstellung der einzelnen Modellarten.

1.4 Modellmerkmale und ihr Nutzen für die Praxis

Wie schon im Abschnitt 1.3.3 ausgeführt, steht bei Stoff das Verhältnis zwischen Original (Widergespiegeltes) und Modell (Widerspiegelndem) im Mittelpunkt der Betrachtungen. Klaus und Buhr sehen 4 Klassifizierungsmerkmale (s.S. 27) und geben danach eine mögliche Einteilung der verschiedenen Modellarten an. In ähnlicher Weise wie Stoff oder Klaus und Buhr gingen weitere Autoren an die Probleme der Klassifikation von Modellen heran und kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Wir verzichten darauf,

diese hier wiederzugeben[1] und wenden uns nochmals einem auf S. 11 dieser Arbeit geäußerten Gedanken zu. Dort ist ein Schema angegeben, welches Unterscheidungsmerkmale von Modellen enthält. Diese Merkmale, nämlich Inhalt, Typus, Ziel, Bestimmung, Material und Wechselbeziehung zwischen Modell und Original müssen als eine Einheit angesehen werden, da sie zu jedem Modell gehören. Wie schon erwähnt wurde, sind die genannten Unterscheidungsmerkmale untrennbar miteinander verbunden und bilden ein Ganzes.

In Abb. 6 werden jedem dieser Merkmale Modellarten bzw. mögliche Materialien für das Merkmal "Material" zugeordnet. Die angegebenen Modellmerkmale sind so gewählt, daß sie sich auf Modelle jedes Wissensgebietes anwenden lassen.

Nach dem Inhalt können wir u.a. biologische, technische, gesellschaftliche und ökonomische Modelle unterscheiden. Diese Modelle können ihrem Typ nach physikalische, kybernetische, mathematische, statische, dynamische oder stochastische Modelle, Struktur- oder Symbolmodelle sein. Das Ziel der Modellierung kann darin bestehen ein genähertes oder ein vollständiges Modell zu schaffen. Nach ihrer Bestimmung können Modelle Anschauungs-, Funktions- oder Experimentalmodelle (dazu gehören auch die Simulationsmodelle) sein. Ihr Einsatzgebiet kann sowohl in der Lehre als auch in der Forschung liegen. Die Frage nach dem Material wird meist schon durch Typ und Bestimmung eines Modells beantwortet. Wir erwähnen als mögliche Materialien Holz, Metall und elektronische sowie hydraulische Bau-

---

1) Vgl. B. A. Bernhard: „Некоторые методологические вопросы моделирования" in „Вопросы философии" 11/64, S. 77 ff; B. A. Glinski u.a.: Моделирование как метод научного исследования, Москва 1965.

steine, ohne damit diese Frage erschöpfend behandelt zu haben. Die Wechselbeziehung Modell-Original führt zur Untersuchung von Subjekt, Objekt und Original in Bezug auf eine Objekt-Subjekt-Beziehung. Auf Grund der Untersuchung der objektiven Realität und ihrer Widerspiegelung im Bewußtsein lassen sich an dieser Stelle ideelle und materielle Modelle unterscheiden, und es läßt sich ein eventuell notwendiger Übergang vom ideellen zum materiellen Modell festlegen.

Bevor wir den oben geschilderten Sachverhalt in einer Abbildung darstellen, soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß die sechs Unterscheidungsmerkmale eine Einheit bilden.

Modell
Inhalt
biologische M.,
technische M.,
gesellschaftl. M.,
ökonomische M.
Wechselbeziehung Modell-Original; Untersuchung vom Subjekt, Objekt und Original in Bezug auf Objekt-Subjekt-Beziehung, Untersuchung der objektiven Realität und ihrer Widerspiegelung im Bewußtsein, Unterscheidung ideeller und materieller Modelle
Form
Material
z.B. Holz,
Metall,
elektron.
u. hydraul.
Bausteine
Ziel
vollständige M.
genäherte M.
Bestimmung
Anschauungsmod.
Funktionsmod.
Experimentalmod.
Simulationsmod.
Einsatz in
Lehre und Forschung

Abb. 6

2. Modelle in der Ökonomie

2.1 Die Notwendigkeit der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen

Nachdem wir uns im vorhergehenden Kapitel allgemein mit Modellen befaßt haben und Anschauungen kennenlernten, die sich auf jedes Wissensgebiet beziehen lassen, wollen wir uns jetzt der Problematik des Einsatzes von Modellen in der Ökonomie zuwenden.

Um die Besonderheiten dieses Einsatzes zeigen zu können ist es notwendig, einige Ausführungen zur Spezifik ökonomischer Erscheinungen und Prozesse zu machen.

Die Erfassung der ökonomischen Prozesse und die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis stellen wegen der Komplexität und Kompliziertheit dieser Erscheinungen ein sehr schwieriges Problem dar. Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten weisen darauf hin, daß zur Lösung dieses Problems die Schaffung und Anwendung ökonomisch-mathematischer Modelle unbedingt notwendig ist. Diese Notwendigkeit resultiert aus der nicht nur qualitativen, sondern vielmehr auch quantitativen Betrachtungsweise ökonomischer Erscheinungen und Prozesse. Um Prozesse quantitativ bewerten zu können, ist der Einsatz der Mathematik unabdingbar, ebenso fließen Methoden und Theorien der Kybernetik in den Erkenntnisprozeß ein.

Im Gegensatz zu naturwissenschaftlichen Vorgängen und technischen Prozessen (auch hier nicht immer!) sind gesellschaftliche und damit auch ökonomische Prozesse gewöhnlich nicht deckungsgleich wiederholbar. Besonders auf technischem und naturwissenschaftlichen Gebiet stellt aber das Experimentieren am Objekt selbst und damit auch in manchen Fällen das Arbeiten

mit der "Methode Versuch-Irrtum" ein wichtiges Moment der wissenschaftlichen Arbeit bei der Erkenntnis und der möglichen angestrebten Verbesserung eines Objektes dar. Die Frage nach der Richtigkeit und Zweckmäßigkeit des Einsatzes der genannten Methode in der Ökonomie muß verneint werden, da erstens ökonomische Erscheinungen und Prozesse gewöhnlich nicht deckungsgleich wiederholbar sind und da zweitens der Mensch ob als Arbeitskraft, Konsument usw. unmittelbar am Ablauf der Prozesse beteiligt ist. Diese Stellung des Menschen kann bewußt oder unbewußt sein. Sie muß in jedem Falle berücksichtigt werden und wird es auch in der sozialistischen Gesellschaft. Deshalb ist es notwendig, die sozialistische Wirtschaft so zu entwickeln, daß die weitere Vervollkommnung der Leitung und Planung zu einer planmäßigen proportionalen Entwicklung der Volkswirtschaft und damit zu einer hohen Effektivität des volkswirtschaftlichen Reproduktionsprozesses führt.

Die auf dem VIII. Parteitag der SED gestellte Hauptaufgabe zeigt die wesentlichen Richtlinien unserer weiteren gesellschaftlichen Entwicklung. Gleichzeitig besteht die Forderung, die Volkswirtschaftsplanung auf größere Zeiträume (z.B. 10-15 Jahre) auszudehnen. Der Schwerpunkt liegt hier bei gesamten Bereichen und Zweigen der Volkswirtschaft und nicht bei einzelnen Betrieben. Für die Prognose derartiger Zeiträume erweist sich die Anwendung geeigneter ökonomischer Modelle als dringend notwendig.

Weil die aufgrund des wissenschaftlich-technischen Fortschritts an die Produktion gestellten Anforderungen ständig zunehmen und die Erhöhung der Effektivität der gesellschaftlichen Produktion das Tempo der ökonomischen Entwicklung (Steigerung

des Nationaleinkommens, Grundlohn, Bedürfnisbefriedigung usw.) bestimmt, wird das Resultat des Leitungs- und Planungsprozesses der Volkswirtschaft davon abhängen, wie genau und umfassend die objektiven ökonomischen Prozesse erfaßt und die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt werden.

Bei der Erfassung ökonomischer Prozesse und der Umsetzung gewonnener Erkenntnisse kommt dem Einsatz ökonomisch-mathematischer Modelle besondere Bedeutung zu.

Die Anwendung der Mathematik ist ein Wesenszug der modernen Forschung. Diese Tatsache wird allgemein auch in der Ökonomie anerkannt. Doch äußert sich schon Klaus dahingehend[1], daß zum einen über den Einsatz der traditionellen mathematischen Methoden hinausgegangen werden muß und daß zum anderen dieser Einsatz keine bloße Ergänzung der qualitativen Analysen durch quantitative sein kann. Vielmehr kommt es darauf an, "solche mathematischen Methoden zu erschließen, die nicht nur bestimmte quantitative Seiten, sondern zugleich das Wesen bestimmter ökonomischer Zusammenhänge erfassen und dieses folglich in seiner quantitativen und qualitativen Einheit widerspiegeln".[2]

Dieser Klaus'schen Ansicht der Einheit von Qualität und Quantität der untersuchten Erscheinungen wird voll zugestimmt, da sie eine echte Weiterentwicklung des Erkenntnisprozesses einer untersuchten Erscheinung darstellt.

Die Bedeutung der Mathematik für die ökonomische Forschung sah schon Karl Marx. Er war der Auffassung, daß eine Wissenschaft nur dann Vollkommenheit erreichte, wenn es ihr gelingt, die

---

1) Vgl. O. Klaus: Kybernetik und Gesellschaft, Berlin 1973, S. 221

2) Ebenda, S. 221

Mathematik in ihren Dienst zu stellen. Die mathematischen Denkformen und Methoden haben in den Werken von Karl Marx eine dreifache Bedeutung: "Sie bilden ein wichtiges Hilfsmittel bei der Analyse komplizierter ökonomischer Strukturen und Prozesse; sie helfen bei der Erfassung von ökonomischen Gesetzmäßigkeiten; sie leisten gute Dienste bei der Veranschaulichung der ökonomischen Gesetzmäßigkeiten".[1]

Um nur ein Beispiel dafür zu nennen, welche Bedeutung Marx der Mathematik zuordnete, zitieren wir aus seinen Briefen über "Das Kapital" an Friedrich Engels: "Ich habe verschiedenemale versucht - zur Analyse der Krisen -, diese ups and downs als unregelmäßige Kurven zu berechnen, und geglaubt (ich glaube noch, daß es mit hinreichend gesichteten Material möglich ist), daraus die Hauptgesetze der Krisen mathematisch zu bestimmen."[2]

Die mathematisch-ökonomischen Arbeiten von Marx wurden nach dessen Tod besonders von Lenin und später von dem sowjetischen Ökonomen Nemtschinow und dem polnischen Ökonomen Oskar Lange weitergeführt.

Eine besondere Weiterentwicklung erfuhr das Marxsche Modell der erweiterten Reproduktion materieller Güter. Schon bevor Marx in seinem "Kapital" die bekannten zweisektoralen Reproduktionsschemata vorstellte, legte er 1863 in einem Brief an Friedrich Engels diesem ein statisches und ein dynamisches Reproduktionsmodell dar.

---

1) F. Burkhardt: Marx und die Mathematik in Wissenschaftliche Zeitschrift der HU, Heft G6/68

2) Marx/Engels, Werke, Bd. 33, Berlin 1966, S. 32

Krankheit hinderte Marx an der Fortsetzung seiner Arbeiten. Hier ist auch die Ursache dafür zu suchen, daß die von ihm selber aufgeworfenen Probleme wie technischer Fortschritt, schnellere Entwicklung der Produktionsmittel gegenüber den Konsumtionsmitteln und der stochastische Charakter der Entwicklung das Modelle in diesem keinen Niederschlag finden konnten.

In einem späteren Abschnitt werden wir uns näher mit seinem Reproduktionsmodell und den von Oskar Lange durchgeführten Untersuchungen beschäftigen. Zur Notwendigkeit der Aufstellung ökonomisch-mathematischer Modelle ist noch zu sagen, daß die Aufstellung von gesicherten Modellen zu einer Verbesserung der Leitung und Planung der objektiven Prozesse führt. Voraussetzung dafür ist die Analyse der qualitativen und quantitativen ökonomischen Natur der Prozesse und Erscheinungen.

Diese Analyse und die genaue Beobachtung eines ablaufenden Prozesses beginnt mit einer verbalen Beschreibung des Prozesses. Diese Beschreibung liefert bereits erste Erkenntnisse über den zu untersuchenden Gegenstand und seine Umgebung und kann der erste Schritt für den Aufbau eines mathematischen Modells sein.

Gelingt es, die quantifizierbaren Zusammenhänge in der verbalen Beschreibung zu erkennen und möglichst vollständig darzustellen, kann der Übergang zu formalisierten Sprachen, z.B. in Form mathematischer Symbole erfolgen. Die quantifizierbaren Zusammenhänge können u.a. durch Gleichungen, Ungleichungen, Differentialgleichungen und Gleichungssysteme erfaßt werden. Eine derartige Form der Darstellung erleichtert die Beschreibung und vor allem die Auswertung des untersuchten Sachverhalts und führt zu einem mathematischen Modell.

Mit Hilfe der syntaktischen Regeln der Mathematik lassen sich aus dem mathematischen Modell Schlußfolgerungen ableiten. Diese Ableitungen sind zunächst rein formaler Natur. Ziel der Analyse ist aber die Erhöhung des Wissens über den Untersuchungsgegenstand. Deshalb müssen das zu untersuchende Problem und die Modellansätze und -ergebnisse verglichen werden, um sowohl unzulässige Vereinfachungen und Abstraktionen als auch Weitschweifigkeiten zu vermeiden.

Keller gibt in [37] folgende Methodik für das Aufstellen und Auswerten mathematischer Modelle an:

1. Formulierung des Tatbestandes (verbale Beschreibung);
2. Übersetzung des Tatbestandes in ein mathematisches Modell (Abstraktion vom semantischen Inhalt);
3. Aussagengewinnung durch formale Operationen;
4. Semantische Interpretation der gewonnenen Aussagen (verbale Beschreibung und Diskussion).

Der 2. Punkt erfordert wegen der notwendigen Formalisierung eine exakte Klärung und Abgrenzung der verwendeten Begriffe und zwingt den Bearbeiter zu einem präzisen Herangehen an diesen Prozeß. Es wird ihm möglich, am Modell zu experimentieren, Varianten zu durchdenken bzw. durchzuspielen. Es wurde bereits auf die Frage des Experiments am Objekt selbst in der Ökonomie hingewiesen und die Frage nach einem Einsatz der „Methode Versuch-Irrtum" in der Ökonomie verneint. Im folgenden Schema wird ersichtlich, an welcher Stelle Experimente mit geringerem Aufwand als in der Praxis und vor allem risikolos durchgeführt werden können.

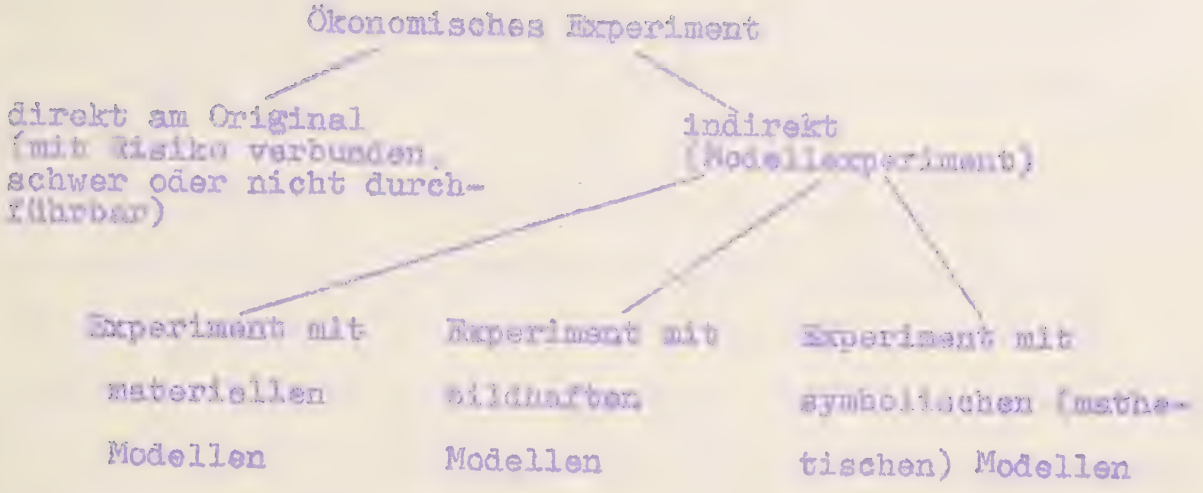


Abb. 7

Besondere Bedeutung kommt den Experimenten mit symbolhaften Modellen zu, wozu wir im weiteren Sinne auch die mathematischen Modelle zählen wollen. Diese Modelle lassen sich so aufbereiten, daß sie der Abarbeitung auf elektronischen Rechenanlagen zugänglich sind. Damit aber verkürzt sich die Zeit für ein Durchspielen von Varianten, Verändern von Einflußgrößen u.ä. bedeutend, und hierin liegt ein wesentlicher Grund für das Sinnvolle des Arbeitens mit mathematischen Modellen.

Keinesfalls darf aber außer acht gelassen werden, daß bereits der zum Aufstellen eines Modells notwendige Abstraktionsprozeß neue Erkenntnisse bringt und daß nicht in jedem Falle das Endergebnis einer Modellierung ein mathematisches Modell sein wird.

2.2 Klassische Modelle der Ökonomie

Die Grundlagen der quantitativen Analyse ökonomischer Prozesse finden sich bei William Petty und Francois Quesnay. Sie versuchten, diese Prozesse als eine Art Stoffwechsel zu begreifen. Da beide Mediziner waren, Petty ein bedeutender Anatom und

Quesnay unter anderem auch Leibarzt der Marquise de Pompadour, lagen die Vergleiche mit im menschlichen Körper ablaufenden Vorgängen nahe.

Marx griff bei seinen Untersuchungen der Reproduktionsprozesse auf ihre Erkenntnisse zurück und entwickelte sie weiter.[1]

Die Untersuchungen Quesnays sind Grundlage der Anwendung mathematischer Methoden in der Ökonomie. Wesentlich umfassendere Arbeiten auf diesem Gebiet liegen von dem französischen Wissenschaftler Cournot (1801-1877) vor.[2]

2.2.1 Das "Tableau economique" von F. Quesnay

Dem französischen Arzt F. Quesnay (1694-1774) kommt als ersten das Verdienst zu, die wirtschaftlichen Verhältnisse eines Landes in einem Kreislauf erfaßt zu haben. Die Inspiration zu diesem Vorhaben bekam er durch den gerade entdeckten Blutkreislauf des Menschen. In Analogie zum menschlichen Blutkreislauf entwickelte er einen Wirtschaftskreislauf, der auch zahlenmäßig die wirtschaftlichen Verhältnisse im damaligen Frankreich annähernd genau wiedergab. Diesem ersten Versuch einer makroökonomischen Analyse maß Marx große Bedeutung bei, er diente ihm u.a. als Grundlage für die Entwicklung seiner Schemata der einfachen und der erweiterten Reproduktion.

Ausgangspunkt des Quesnayschen Modells ist die Verteilung des gesellschaftlichen Gesamtprodukts zwischen drei von ihm de-

---

1) Siehe hierzu auch A.W. Anikin: Ökonomen aus drei Jahrhunderten, Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1974

2) A. Cournot: Untersuchungen über die mathematischen Grundlagen der Theorie des Reichtums, Verlag von Gustav Fischer, Jena 1924

finierten Klassen. Er teilt folgende drei Hauptklassen ein:

1. Die produktive Klasse. Diese umfaßt alle in der Landwirtschaft tätigen Personen (Landarbeiter, Pächter), die Lebensmittel und Rohstoffe produzieren. Die Bezeichnung "produktive Klasse" wählte er, weil aus ihrer Arbeit ein Überschuß entsteht.
2. Die Klasse der Eigentümer. In dieser Klasse wurden die Grundbesitzer und Grundeigentümer wie König, Adel und Geistlichkeit erfaßt. Diese Klasse eignet sich den durch die erste Klasse erzeugten Überschuß an.
3. Die Klasse, die alle übrigen Berufe erfaßt. Hierzu gehören demnach Industrie (Manufakturen) und Handel.

Zwischen den definierten Hauptklassen sah Quesnay bestimmte Beziehungen und formulierte Liefer- und Empfangsbedingungen. Der Einfachheit halber bezeichnen wir die Hauptklassen mit I, II und III. Es muß noch vorausgeschickt werden, daß Quesnays Schema konstante Preise und eine einfache Reproduktion zugrundelegen. Alle Beziehungen innerhalb der Hauptklassen selbst bleiben unberücksichtigt, es gibt also nur Güter- bzw. Kapitallieferungen zwischen den Klassen. Alle im Verlaufe eines Jahres erfolgten Austauschoperationen lassen sich in einer Gesamtsumme zusammenfassen.

Die Austauschvorgänge sehen folgendermaßen aus:[1]

Die Klasse I, die Landwirtschaft, produziert in jedem Jahr Nahrungsmittel und Rohstoffe für 5 Mrd. Livre (damalige Geldeinheit in Frankreich). Davon verbraucht sie 2 Mrd. Livre

---

[1] Vgl. W. Krelle: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Berlin 1959, S. 39 ff.

selbst zur Reproduktion ihres Anlagenkapitals (z.B. für Saatgut), liefert für 1 Mrd. Livre Nahrungsmittel an die Eigentümer (Klasse II) und gibt für 2 Mrd. Livre Nahrungsmittel und Rohstoffe an Klasse III ab. Die Klasse III verbraucht die Lebensmittel, veredelt aber die erhaltenen Rohstoffe und hebt deren Wert auf 2 Mrd. Livre. Diese veredelten Rohstoffe gibt sie zu je einer Mrd. Livre an die Klassen I und II ab. Die Klasse II erhielt für 1 Mrd. Livre Nahrungsmittel von der Klasse I und für gleichfalls 1 Mrd. Livre veredelte Rohstoffe von der Klasse III. Die zum Ausgleich nötige Zahlungsfähigkeit resultiert aus Zinsen und Renten, die die Klasse der Eigentümer (II) aus der Landwirtschaft (I) erhält. Damit ist der Kreislauf geschlossen, er läßt sich durch folgendes Schema darstellen:

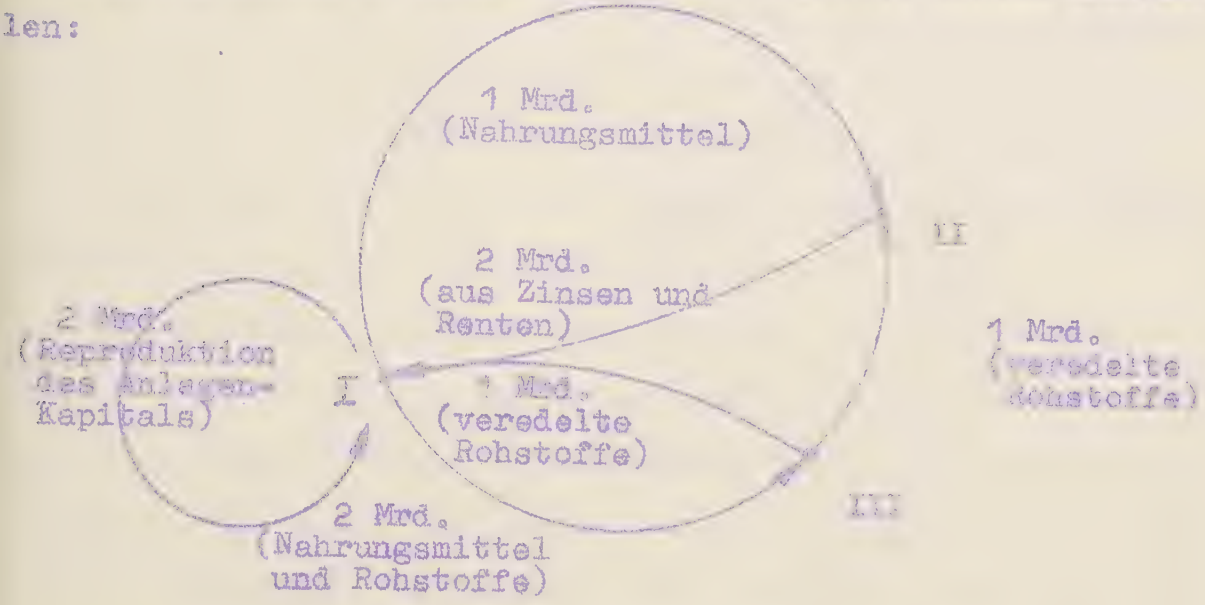


Abb. 8

In diesem Schema werden die Forderungen, die I an III zu stellen hat, von II beglichen. Damit sind gleichzeitig die Forderungen von III an II erfüllt.

Quesnays Schema stellt den ersten Versuch einer makroökonomischen Analyse dar und konnte deshalb nicht frei von Fehlern sein. Einer liegt in der ungenügenden Wertung der [illegible] (Herausbildung von Kapitalisten - Lohnarbeiter). Marx bezeichnet das physiokratische System, Quesnay war ein Vertreter dieser Richtung, dennoch als "die erste systematische Fassung der [illegible] Kapitals - die Pächterklasse - leitet die ganze ökonomische Bewegung. Der Ackerbau wird kapitalistisch betrieben, d.h. als Unternehmung des kapitalistischen Pächters großer Stufenleiter; der unmittelbare Bebauer des Bodens ist Lohnarbeiter. Die Produktion erzeugt nicht nur die Gebrauchsartikel, sondern auch deren Wert; ihr treibendes Motiv aber ist die Gewinnung von Mehrwert, dessen Geburtsstätte die Produktions-, nicht die [illegible]."[1] [illegible] ersten Quesnay als ersten Analytiker des Kapitals.

Bei allen Mängeln stellt das "Tableau economique" den Versuch der Verteilung eines bestimmten Jahreserzeugnisses auf der Grundlage der einfachen Reproduktion dar. Eine wesentliche Weiterentwicklung finden wir in den von Karl Marx untersuchten Schemata der einfachen und erweiterten Reproduktion.

---

[1] K. Marx: Das Kapital. Bd. II, Berlin 1951, S. 561

.2.2 Die Marx'sche Reproduktionstheorie

Die Frage, die Marx als Begründung seiner umfangreichen ntersuchungen der einfachen Reproduktion stellte, lautet folendermaßen: "Wie wird das in der Produktion verbrauchte Kapital einem Wert nach aus dem jährlichen Produkt ersetzt, und wie erschlingt sich die Bewegung dieses Ersetzens mit der Konsumtion es Mehrwerts durch die Kapitalisten und des Arbeitslohnes durch ie Arbeiter?"[1]

Alle Untersuchungen führte K. Marx mittels Zahlendarstellungen durch, er brachte sie noch nicht in eine allgemeine Form. iese finden wir bei Untersuchungen und Betrachtungen der Marxchen Theorien u.a. bei Oskar Lange, W.S. Nemtschinow und P. eille.[2]

Wir wollen uns im folgenden an die von O. Lange gewählte Form alten, da wir auf seine regelungstheoretische Darstellungsweise er Marx'schen Reproduktionsschemata noch zurückkommen werden.

Marx unterteilte den produzierenden Bereich in zwei Abteiungen, nämlich in:

Abteilung I, die Produktionsmittel produziert und

Abteilung II, die Konsumtionsmittel produziert.

ußerdem eignen sich die Kapitalisten den Mehrwert an, die rbeiter erhalten Arbeitslohn für ihre lebendige Arbeit.

Zum einen analysiert er also das Jahresprodukt der Gesellschaft in seiner gebrauchswertmäßigen Zusammensetzung (Unterscheidung der Gebrauchswerte in ihren stofflichen Form und Unterscheidung in Produktions- und Konsumtionsmittel); zum anderen untersucht er die wertmäßige Zusammensetzung des Jahresproduktes d unterteilt es in konstantes Kapital (vergangener Arbeit

---

1) Ebenda, S. 396

2) Vgl. [36], S. 49 ff; [45], S. 107 ff; [34], S. 40 ff.

Wert (Aufwand), in variables Kapital (Lohn für geleistete lebendige Arbeit) und in Mehrwert (für den Kapitalisten aus unbezahlter Mehrarbeit seiner Arbeitskräfte)[1].

Es ergeben sich also folgende Gleichungen:

$$X_1 = c_1 + v_1 + m_1;$$

$$X_2 = c_2 + v_2 + m_2;$$

in denen X_i (i=1,2) das gesellschaftliche Jahresprodukt der Abteilungen I und II darstellen, c_i den materiellen Verbrauch oder den notwendigen Verbrauch an Produktionsmitteln angibt, v_i den Lohn für lebendige Arbeit und m_i den Mehrwert. Dabei lassen sich v_i und m_i zusammenfassen als notwendiger Aufwand an lebendiger Arbeit zur Erzeugung von X_i (jeweils i=1,2). Unter der Voraussetzung eines gleichbleibenden Niveaus der Produktion und einer unveränderten Arbeitsproduktivität läßt sich folgendes Schema angeben:

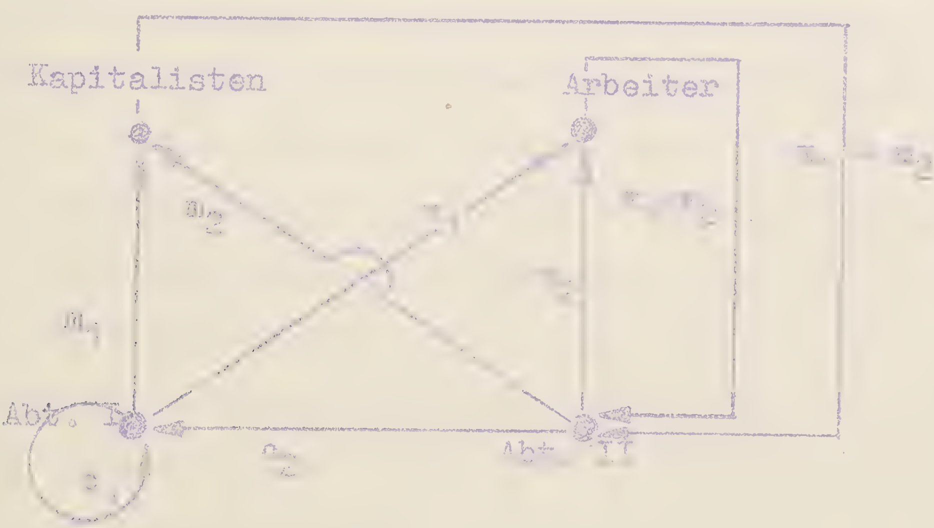


Abb. 9[2]

1) Siehe auch W.S. Nemtschinow: Ökonomisch-mathematische Methoden und Modelle, Berlin 1965, S. 107-111

2) Vgl. W. Krelle: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Berlin 1959, S. 41

Mit dem Kirchhoffschen Knotenpunktsatz in der Elektrotechnik zu vergleichen (Gleichheit der Summen zu- bzw. abfließender Ströme an einem Knoten), muß als in Klammern formulierte Bedingung an jedem der vier Knoten in Abb. 9 gelten. Bei der notwendigen Verwendung des vollständigen Ausdrucks ihres Einkommens durch Arbeiter und Kapitalisten (in Abb. 9 so dargestellt), ergibt sich an den für Abteilung I und II stehenden Knoten folgende Bedingung:

$$v_1 + m_1 = c_2 .$$

Diese Gleichgewichtsbedingung leitete Marx aus Zahlenbeispielen, die er durchrechnete, ab. Sie läßt sich neben dem Schema in Abb. 9 auch so erklären, daß das Jahresprodukt der Abteilung I ($c_1 + v_1 + m_1$) den gesamten materiellen Verbrauch beider Abteilungen ($c_1 + c_2$) decken muß. Aus diesem Grunde muß das in Abteilung I geschaffene Einkommen ($v_1 + m_1$) mit dem materiellen Aufwand der Abteilung II (c_2) im Gleichgewicht sein.

Lenin erkannte die große Bedeutung dieser Marxschen Erkenntnis an und kam zu folgender Aussage: "Bedingung für die einfache Reproduktion ist Gleichheit der Summe des variablen Kapitals und des Mehrwerts in Abteilung I mit dem konstanten Kapital in Abteilung II: I(v+m) = IIc. Mit anderen Worten läßt sich dieses Gesetz wie folgt formulieren: Die Summe des gesamten im Laufe eines Jahres neu erzeugten Wertes (in beiden Abteilungen) muß dem Gesamtwert des in Form von Konsumtionsmitteln existierenden Produkts gleich sein:

$$I(v+m) + II(v+m) = II(c + v + m)." \quad ^{1)}$$

---

1) W.I. Lenin: Zur sogenannten Frage der Märkte. in: Werke, Bd. 1, Berlin 1961, S. 71

2.3 Hilfsmittel bei der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen

2.3.1 Grundlagen der Regelungstheorie und Möglichkeiten ihrer Anwendung

Aus den allgemeinen Aussagen über Modelle ziehen wir die Erkenntnis, daß ein Modell nicht ausschließlich der Erkenntnisgewinnung dient, sondern daß vielmehr seine wichtigste Bedeutung in den meisten Fällen darin besteht, Informationen des Objekts (des zu modellierenden Originals) zugunsten des Subjektes (des Untersuchenden) zu erreichen.

Übertragen auf Erscheinungen und Prozesse in der Ökonomie bedeutet das, daß ein Modell erstens als Grundlage für die Gewinnung von Erkenntnissen über Inhalt, Struktur und Ablauf dieser Prozesse gesehen werden muß, daß sich zweitens daraus Regeln und Gesetzmäßigkeiten ableiten lassen und daß drittens diese Modelle die theoretische Grundlage für die Regelung und Steuerung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen bilden können.

Die dritte angegebene Möglichkeit setzt aber ein sehr genaues und gründliches Arbeiten bei der Modellierung voraus, da Fehler im Modell bei der Übertragung der Ergebnisse in die Praxis dort natürlich zu Fehlern bei der Steuerung der ablaufenden Prozesse führen.

Wir wollen uns am Beispiel eines Regelungsvorganges ansehen, welcher Fehler beim mechanischen Übertragen einer in diesem Falle biologischen Gesetzmäßigkeit auf gesellschaftliche Vorgänge auftreten kann.

ur Veranschaulichung eines Regelprozesses betrachten wir olgende Abbildung:

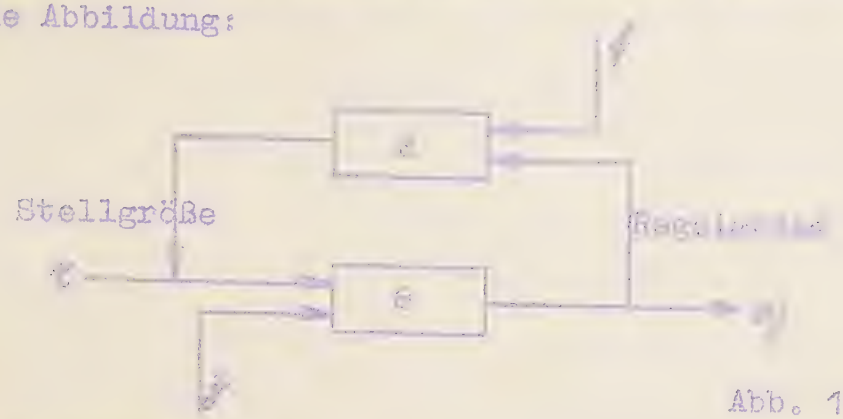


Abb. 10

erin bedeuten: S - Regelstrecke

R - Regler

$\mathcal{x}$ - Vektor der Eingangsgrößen

$\mathcal{y}$ - Vektor der Ausgangsgrößen

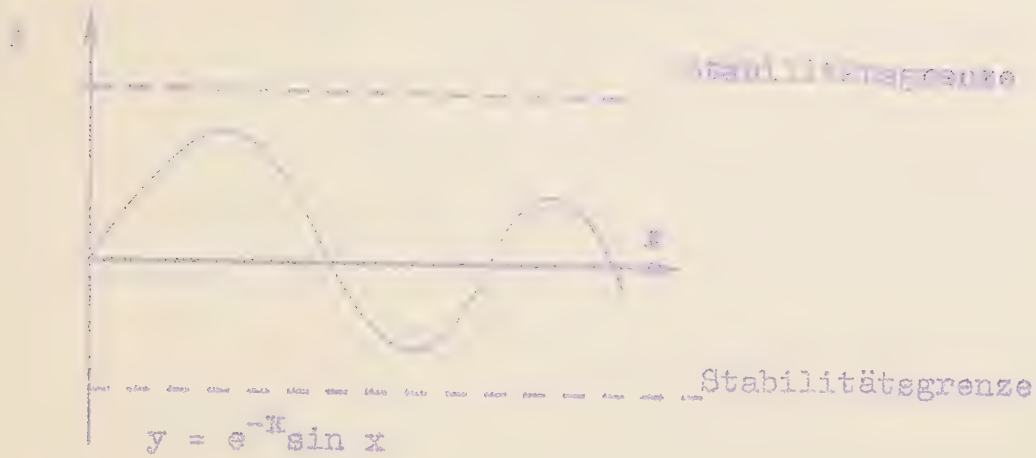
$\mathcal{f}$ - Vektor der Führungsgrößen (Sollwerte)

$\mathcal{g}$ - Vektor der Störgrößen

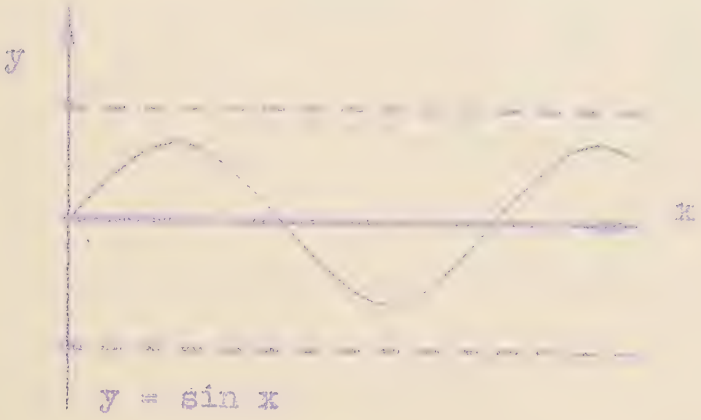
Die Aufgabe des Reglers besteht darin, die durch Störungen der Regelstrecke hervorgerufenen Veränderungen so zu beeinflussen, daß die Ausgangsgrößen mit den vorgegebenen Führungsgrößen übereinstimmen und daß die in der Regelstrecke ablaufenden Vorgänge und das System selbst stabil bleiben. Zur Stabilität soll nur soviel gesagt werden, daß innerhalb gewisser Schranken (der Stabilitätsgrenzen) Abweichungen der Ausgangsgrößen von den Sollwerten möglich sind. Erst das Überschreiten der Stabilitätsgrenzen führt zur Instabilität des Systems, d.h., es treten Veränderungen im System auf, die ein Arbeiten im gewünschten Sinne unmöglich machen.

Die Abweichungen einer Regelgröße von der Sollwertvorgabe zeigen mit Hilfe einer Exponential- und einer Sinusfunktion:

1. System mit negativer Rückkopplung



2. Oszillierendes System



3. System mit positiver Rückkopplung

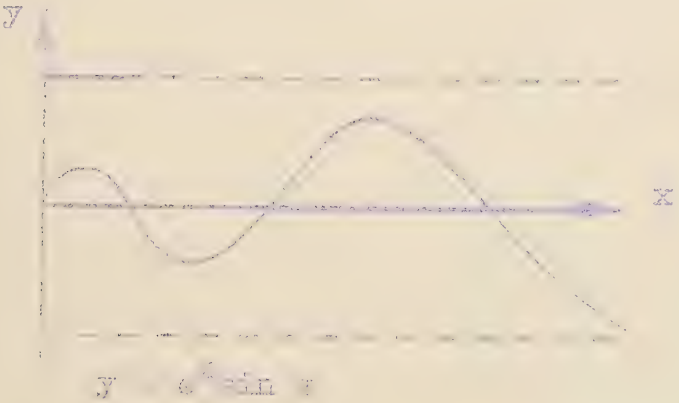


Abb. 11

In den angegebenen Funktionen ist x = k . t, dabei stellt k einen Faktor dar, der die Eigenschaften des Systems (des Regelkreises) beschreibt, t ist die Zeit.

Es ist deutlich zu sehen, daß nur im 3. Teil beim System mit positiver Rückkopplung die Regelgröße den durch die Stabilitätsgrenzen umfaßten Toleranzbereich verläßt, es also zum Stabilitätsverlust des Systems kommt.

Diese Bemerkungen zur Theorie der Regelkreise sind keinesfalls vollständig, genügen aber für unsere folgenden Betrachtungen. Als Ergänzung sei lediglich noch hinzugefügt, daß zum Durchlaufen des Reglers eine bestimmte Zeit benötigt wird, daß also vom Zeitpunkt der Abnahme der Regelgröße bis zum Zeitpunkt des Eintritts der Stellgröße (Rückkopplung) ein gewisser Zeitraum vergeht, der in der Regelungstheorie als Totzeit des Reglers bezeichnet wird. Das Bestreben wird immer dahin gehen, diese Totzeit möglichst klein zu halten.

Sehen wir uns nun unser Beispiel an: Wie wir wissen, wird in den kapitalistischen Ländern immer wieder versucht, den Kampf der Arbeiterklasse und der Gewerkschaften ausschließlich auf die Erfüllung ökonomischer Forderungen zu lenken, ihm seinen politischen Charakter mit der Zielrichtung des Veränderns der bestehenden gesellschaftlichen Verhältnisse zu nehmen. Marx äußerte sich folgendermaßen dazu: "Gewerkschaften tun gute Dienste als Sammelpunkte des Widerstandes gegen die Gewalttaten des Kapitals. Sie verfehlen ihren Zweck zum Teil, sobald sie von ihrer Macht einen unsachgemäßen Gebrauch machen. Sie verfehlen ihren Zweck gänzlich, sobald sie sich darauf beschränken, einen Kleinkrieg gegen die Wirkungen des bestehenden Systems zu führen, statt gleichzeitig zu versuchen, es zu ändern, statt

ihre organisierten Kräfte zu gebrauchen als einen Hebel zur schließlichen Befreiung der Arbeiterklasse, d.h. zur endgültigen Abschaffung des Lohnsystems."[1]

Der Begründer des Allgemeinen Deutschen Arbeitervereins (1863) Lassalle, negierte die gewaltige Rolle der Gewerkschaften und formulierte sein sogenanntes "Ehernes Lohngesetz". Nach diesem sind gewerkschaftliche Aktionen, die dem Ziel der Verbesserung der Lage der Arbeiterklasse dienen, da die Verbesserung der Lage zu einer höheren Geburtenzahl führe. Diese bewirke ein Anwachsen des Angebotes an Arbeitskräften und dieses Anwachsen rufe eine Senkung des Lohnes und damit wiederum eine Verschlechterung der Lage der Arbeiterklasse hervor. Daraus resultiere dann eine Verminderung der Geburtenzahl und die Senkung des Angebotes an Arbeitskräften und damit eine Steigerung des Arbeitslohnes zur Folge habe.

Diese Beschreibung läßt sich in Form eines Regelungs- oder besser Rückkopplungssystems darstellen. Dazu muß aber bemerkt werden, daß eine Voraussetzung des Systems fehlt, nämlich die, daß der Arbeitslohn der Wert bzw. im Preis der Ware Arbeitskraft ist.

Das Rückkopplungssystem hat folgendes Aussehen[2]

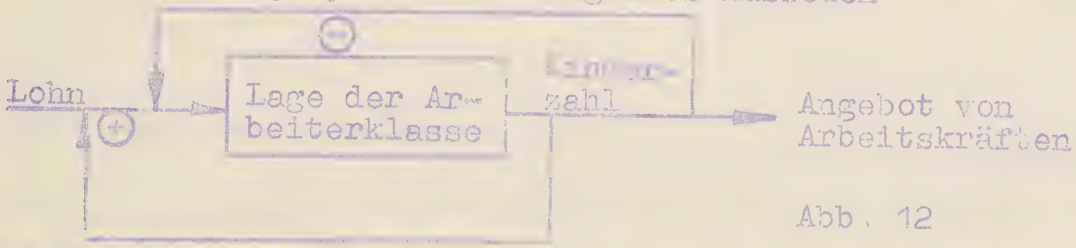


Abb. 12

und entspricht in seiner Form dem in der Kybernetik üblichen Regelkreis. Aber, selbst wenn man von der nur langen Dauer

---

1) K. Marx: Lohn, Preis und Profit, in Marx/Engels, Werke, Bd. 16, Berlin 1962, S. 152
Vgl. auch G. Klaus: Kybernetik und Gesellschaft, Berlin 1973, S. 236 ff

2) G. Klaus: Kybernetik und Gesellschaft, Berlin 1973, S. 241

des Reglers (Heranwachsen des Kindes zur Arbeitskraft) absieht, die regelungstechnisch nicht tragbar wäre, ist das System unrichtig, da es von falschen Voraussetzungen ausgeht. Hier zeigt sich deutlich die Gefahr des Einsatzes kybernetischer Modelle (ein solches stellt der Regelkreis dar), wenn das entsprechende Einsatzgebiet dem Modellierenden nicht genügend bekannt ist, er nicht über die entsprechenden Kenntnisse der jeweiligen Disziplin verfügt.

Das in Abb. 12 angegebene Schema könnte bei mechanischer Übertragung einer biologischen Gesetzmäßigkeit auf gesellschaftliche Vorgänge entstanden sein. Denn es "entspricht genau dem Strukturschema, das die Gleichgewichtsverhältnisse zwischen bestimmten feindlichen Tiergattungen als spezielles Problem von Symbiose und Parasitismus beschreibt".[1]

Dieses Strukturschema hat folgendes Aussehen:

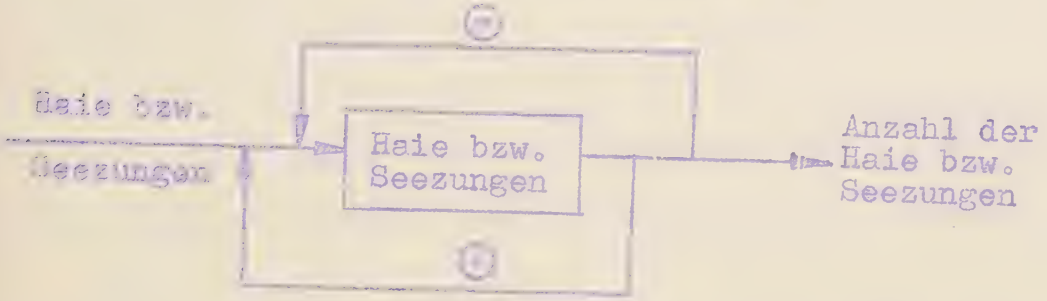


Abb. 13

Es liegt eine von Klaus zitierte Formulierung von V. Selbstein zugrunde: "Ziemlich genaue Statistiken haben eine periodische Schwankung der Zahl der Seezungen und der Haie in der Adria nachgewiesen. Die Haie ernähren sich von den Seezungen, sind aber weiter Fischarten. Sinkt nun die Zahl der Seezungen, so wird auch die Zahl der Haie geringer. Bevölkert das Meer sich

[1] Ebenda, S. 242

ieder mit Seezungen, so nehmen auch die Haie wieder zu ...[1]).

Zum Deutlichmachen dieses Wechselverhaltens verwenden wir die nachfolgende Skizze, die die Verhältnisse nur prinzipiell wiedergibt und nicht maßstabgetreu ist.

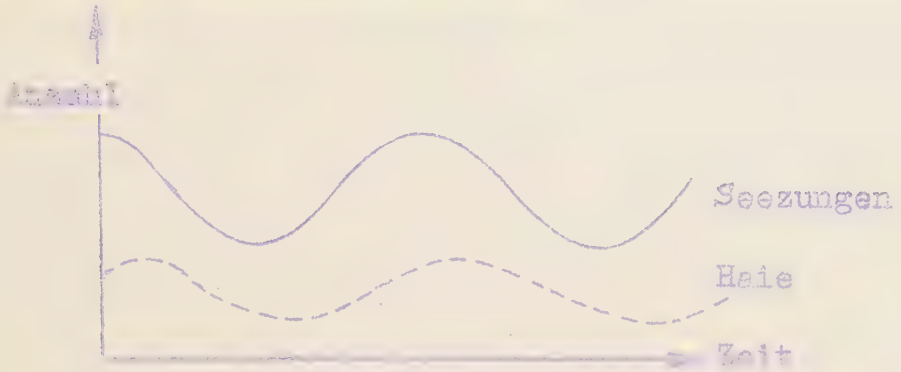


Abb. 14

Die Darstellung dieses biologischen Verhältnisses durch ein Rückkopplungssystem ist zweifellos richtig, seine mechanische Übertragung auf gesellschaftliche Prozesse ohne deren genaue Kenntnis führt aber sofort zu Fehlern. Deshalb muß ein mechanisches Übertragen immer in Frage gestellt werden, auch wenn sie bestimmte Vorgänge modeln. Ein Vergleichen dieser Vorgänge ist richtig, nicht aber einfaches Übertragen ohne genaues und umfassendes Studium der betreffenden Fachgebiete.

2.3.2 Der Regelkreis und das Schema der einfachen Reproduktion

Im Abschnitt 2.3.1 wurden bereits einige Bemerkungen zur Theorie des Regelkreises gemacht, wir wollen sie durch die Erläuterung der Grundformel der Regelungstechnik ergänzen. Wie wir wissen, erfahren die Ergebnisgrößen x in der Regelstrecke eine proportionale Transformation und werden in die Ausgangs-

[1]) Ebenda, S. 242

größen y umgeformt. Diese Umformung läßt sich durch die Glei-
hung darstellen:

$$y = Sx.$$

ach dem Durchlaufen der Regelstrecke wird die Regelgröße ab-
ezweigt, sie durchläuft den Regler und tritt in umgewandelter
orm (durch den Regler) zusätzlich zur Eingangsgröße als Stell-
röße in die Stuerstrecke ein. Damit ist der Regelkreis einmal
urchlaufen, wie Abb. 15 zeigt, in der wir den Ausgangszustand
es Reglers als Δx bezeichnen wollen.

Abb. 15

Unter der Annahme, daß im Regler R genauso wie in der Re-
elstrecke S eine proportionale Umformung erfolgt,
st die durch den Regler an seinem Eingangszustand vorgenommene
orrektur $\Delta x = Ry$. Beim Einfügen dieser Korrektur ergibt sich
ach dem Durchlaufen des Regelkreises :

$$y = S(x+\Delta x) = S(x+Ry) = Sx + SRy.$$

ufgelöst nach y erhalten wir:

$$y = \frac{S}{1-SR} \cdot x .$$

ese Gleichung wird als Grundformel der Regelungstheorie be-
eichnet, wobei einige Autoren für den Nenner 1-SR angeben,
il sie den Übertragungsfaktor des Reglers mit einem negativen
rzeichen versehen, um die entgegengesetzte Richtung der Kopp-
ng von Regelstrecke und Regler deutlich zu machen. Wir wollen

bei der Form, die wir erhielten, bleiben.

Sie wird auch von Lange angegeben[1], wobei er sie später zur Analyse und Interpretation der Marxschen Reproduktionsschemata benutzt. Zu diesem Zwecke geht er von den bereits genannten Gleichungen

$$X_1 = c_1 + v_1 + m_1$$

und

$$X_2 = c_2 + v_2 + m_2$$

aus, wobei er (v_1+m_1) bzw. (v_2+m_2) nicht aufteilt, sondern als Aufwand an lebendiger Arbeit bezeichnet. Nach Einführung sogenannter Aufwandskoeffizienten

a_{1c} = Koeffizient der Aufwendungen an PM in Abt. I,

a_{2c} = " " " an PM in Abt. II,

$a_{1(v+m)}$ = " " " an lebendiger Arbeit in Abt. I,

$a_{2(v+m)}$ = " " " an lebendiger Arbeit in Abt.II

lassen sich die genannten Gleichungen wie folgt umformen:

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= a_{1c} \cdot X_1 + (v_1+m_1) \\ X_2 &= [illegible] \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Diese Gleichungen lassen sich auch in anderer Form darstellen, nämlich:

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= \frac{1}{[illegible]} (v_1+m_1) \\ X_2 &= \frac{1}{[illegible]} c_2 \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

---

1) Oskar Lange: Einführung in die ökonomische Kybernetik, Berlin 1968, S. 17 ff.

Die so gefundenen Formen haben große Ähnlichkeit mit der Grundformel der Regelungstheorie, die [illegible] ablaufenden Prozesse bei der einfachen Reproduktion lassen sich deshalb auch als Regelkreise darstellen:

In beiden Regelungskreisen in Abb. 16 kommt der Regel- [illegible] ist zu entnehmen, daß jeweils ein Teil des Gesamtproduktes [illegible] zurückgeführt wird. Das ist keine neue Erkenntnis, neu aber ist diese von O. Lange benutzte anschauliche Form der Darstellung. Ihr Wert wird noch deutlicher, wenn man die Verhältnisse $X_1:X_2$ bzw. $X_2:X_1$ bildet. Wir wollen uns auf das Verhältnis des Bruttoproduktes von Abteilung II zu dem der Abteilung I beschränken. Unter Berücksichtigung der von Marx formulierten Gleichgewichtsbedingung $v_1+m_1 = v_2$ und bei Beachtung, daß $a_{2c} + a_{2(v+m)} = 1$, ergibt sich für das Verhältnis $X_2:X_1$:

$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{1-a_{2c}}{a_{1c}}$$

[illegible] 34

araus ergibt sich für X_1:

$$X_1 = \frac{1}{1 - a_{1c}} \cdot c_1 \quad (1)$$

ie soeben gefundene Beziehung kann wiederum durch einen Re-
elkreis dargestellt werden:

Abb. 17[1)]

Die in diesem Regelkreis ablaufenden Vorgänge lassen sich
o interpretieren, daß für die Produktion von X_2 Einheiten
onsumtionsmitteln bei Aufrechterhaltung der einfachen Repro-
ıktion eine bestimmte Menge an Produktionsmitteln erforder-
ich ist. Das sind zunächst $a_{2c} \cdot X_2$ Einheiten an PM. Zur Her-
tellung dieser Menge wird aber wiederum ein Aufwand an PM be-
ötigt, der über einen Regler (von Lange als Operator mit
$_{1c} = c_1 : X_1$ bezeichnet) zurückgeführt wird. Diesem Aufwand ent-
prechen $a_{1c} X_1$ Einheiten an Produktionsmitteln aus Abteilung I.
nnliche Beziehungen lassen sich nach Bildung des Verhältnisses
$_1 : X_2$ angeben.

Die von Lange durchgeführten Untersuchungen beweisen, daß
s möglich ist, die Marxschen Schemata der einfachen Reproduk-
on als Regelkreis darzustellen. Die Ursache hierfür liegt
arin, daß diese Schemata Rückkopplungen enthalten, und eben
ese sind typisch für Regelungsprozesse. Gleiches wie für die

---

1) Ebenda, S. 52

chemata der einfachen Reproduktion gilt für die der erweiter-
en. Die dort entstehenden Regelkreise enthalten aber als Be-
onderheit mehrere parallel gekoppelte Regler[1]. Wir verzich-
en darauf, sie gesondert darzustellen.

Keinesfalls darf aber unerwähnt bleiben, daß die Marxschen
ntersuchungen der erweiterten Reproduktion den ersten Versuch
arstellen, eine wachsende Volkswirtschaft in ihrer Entwicklung
bzubilden und sie damit zu modellieren. Wie schon erwähnt,
beit. Seinem Bestreben, ökonomische Prozesse und Erscheinungen
glichst umfassend und genau abzubilden und zu untersuchen,
lgten viele Wissenschaftler. Wegen der rein zeitlich gesehen
äteren Entwicklung ökonomischer Theorien als beispielsweise
turwissenschaftlicher und wegen der Besonderheiten ökonomi-
her Erscheinungen und Prozesse, auf die schon hingewiesen
rde, sind die Fragen der Modellierung ökonomischer Vorgänge
ute aktueller denn je.

3.3 Eine Klassifikationsmöglichkeit ökonomisch-mathematischer Modelle

Ungeachtet der unterschiedlichen Betrachtungsweise und der
efe des Eindringens in die gestellte Problematik ist den
ellen von Quesnay und Marx eines gemeinsam:
In ihnen wird die Wirtschaft eines Landes in mehrere Sek-
ren bzw. Abteilungen unterteilt. Bei der heutigen Komplexi-
einer Volkswirtschaft reichte eine solche Einteilung für

[1] Vgl. ebenda, S. 53 ff.

eine möglichst detaillierte Darstellung der ablaufenden Prozesse bei weitem nicht mehr aus. Es machte sich demzufolge erforderlich, Mittel und Wege zu finden, mit deren Hilfe sich solche großen Objekte wie z.B. die Volkswirtschaft eines Landes erfassen und abbilden lassen. Parallel dazu erhob sich die Forderung, auch Teile des Gesamtsystems zu modellieren, also Modelle kleiner Teile einer Gesamtwirtschaft zu schaffen. Entsprechend dem Umfang des abzubildenden Objekts unterscheiden wir 1. zwischen Makro- und Mikromodellen.

Mikroökonomische Modelle sind Widerspiegelungen eines Elementes bzw. eines Teilsystems eines ökonomischen Systems. Durch das Modell werden ökonomische Verhaltensweisen des Originals wiedergegeben. Mikroökonomische Modelle stellen beispielsweise Leitungs- oder Planungsmodelle von Betrieben oder Produktionszweigen dar. Sie lassen sich ebenso wie die makroökonomischen Modelle nach den auf S. 11 angegebenen Unterscheidungsmerkmalen unterteilen. Der Unterschied zur allgemeinen Darstellung auf S. 11 liegt darin, daß alle in diesem [illegible] gegenstand haben, nämlich die Abbildung und Modellierung ökonomischer Erscheinungen und Prozesse. Isomorphien treten in der Struktur und der Funktion bzw. der Verhaltensweise von Modell und dem Objekt in der Ökonomie auf.

Makroökonomische Modelle bilden die gesamte Wirtschaft eines Landes oder auch mehrerer Länder zusammen ab (z.B. in Form eines Modells der Volkswirtschaften der Mitgliedsländer des RGW). Ziel für die Konstruktion und Analyse derartiger Modelle ist gewöhnlich die Prognostizierung der Hauptkennziffern für den Perspektivzeitraum, die die Entwicklung der

irtschaft charakterisieren (solche Kennziffern wie Wachs-
umstempo, Bedarfsniveau und ähnliches), die Planung der
ationellsten Zweigstruktur und die Aufdeckung sich abzeich-
ender Disproportionen".[1]

Unter dem Gesichtspunkt des Detailliertheitsgrades lassen
ich die makroökonomischen Modelle in ein-, zwei- und mehr-
ktorale Modelle einteilen. Von besonderer Bedeutung sind
wei- und mehrsektorale Modelle. Dabei bildet die schon von
arx gewählte Unterteilung in eine produktionsmittelerzeugende
teilung und in eine Abteilung, die Konsumtionsmittel her-
ellt, den Ausgangspunkt beim Aufbau zweisektoraler Modelle.
eim Übergang zu mehrsektoralen Modellen wird diese Unterteil-
ng weiter verfeinert. Michalewski[2] unterscheidet makro-
konomische Modelle weiterhin "nach dem Charakter der Beschrei-
ung des makroökonomischen Systems und der Effektivität der
eeinflussung der ökonomischen Politik und - über sie - auch
er ökonomischen Entwicklung".

Der erste Teil dieses Zitats bezieht sich auf die Beschrei-
ng von Struktur, Funktion und Verhalten des Originals durch
s Modell. Hier sind, wie wir gesehen haben, sehr unterschied-
che Formen möglich. Im zweiten Teil wird implizit eine Aus-
ge über die Arbeitsweise des Modells und über die Abbildungs-
nauigkeit (Detailtreue) gemacht, denn von diesen Faktoren
ngt entscheidend die Effektivität der Beeinflussung der öko-
mischen Politik und über diese auch der ökonomischen Entwick-
ng ab.

N.P. Fedorenko u.a.: Mathematik und Kybernetik in der Ökono-
mie, Berlin 1973, S. 119
Ebenda, S. 117

Ein 2. Unterscheidungsmerkmal ökonomisch-mathematischer Modelle liegt in der unterschiedlichen Darstellungsweise von Modellen, die sich in der Zeit ändernde Prozesse (dynamische Vorgänge) und in der Zeit gleichbleibende (statische Vorgänge) widerspiegeln. Wir unterscheiden aus diesem Grund statische und dynamische Modelle.

Statische Modelle bilden gewissermaßen einen Gleichgewichtszustand ab, der bei einer Momentaufnahme einer ökonomischen Erscheinung entstand. Mit dynamischen Modelle wird versucht, der zeitlichen Entwicklung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen Rechnung zu tragen, denn ein Merkmal ökonomischer Systeme besteht in ihrer ständigen Höherentwicklung, die z.B. durch die Veränderung der gesellschaftlichen Bedürfnisse und durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt hervorgerufen wird. Hier ist es erforderlich, darauf hinzuweisen, daß die Einbeziehung der Dynamik schwierig ist. Denken wir an Untersuchungen der Entwicklung der Bedürfnisse des Menschen und deren Quantifizierung, so wird diese Problematik sichtbar.

Als 3. Unterscheidungsmerkmal finden wir Unterschiede in der Abbildung eindeutig determinierter Prozesse und Erscheinungen und in der Abbildung wahrscheinlichkeitstheoretischer (stochastischer) Prozesse. Da sich in wohl fast allen ökonomischen Erscheinungen und Prozessen stochastische Einflüsse finden lassen, wächst die Bedeutung stochastischer Modelle ständig, wenngleich gegenwärtig noch meist versucht wird, mit determinierten Modellen zum Ziel zu kommen. Als Ursache dafür gibt Lichalewski u.a. an:

eine "zu breite Möglichkeit für den Ersatz von Produkten
und Ressourcen;
unvollständige Beschreibung des ökonomischen Systems
(hauptsächlich oder fast ausschließlich wird der reine
Produktionsaspekt beschrieben)
Ignorierung des sozialökonomischen Mechanismus
Verhalten großer Wirtschaftseinheiten und folglich in
letzter Hinsicht auch des gesamten Volkswirtschaftes
real gestaltet".[1])

Will man der Forderung nachkommen, Objekte der ökonomischen
rklichkeit möglichst detailgetreu nachzubilden, so entsteht
r die zukünftige Forschung die Aufgabe, mehr als bisher die
inbeziehung stochastischer Einflüsse in aufzubauende Modelle
untersuchen. Gleiches gilt für die Schaffung dynamischer
odelle, da erst mit Hilfe dieser Modelle eine möglichst genaue
derspiegelung der ökonomischen Realität möglich wird.

Es ist bekannt, daß sehr viele Schwierigkeiten beim Aufbau
artiger Modelle auftreten. Die zu beseitigen, muß die Auf-
be von Wissenschaftlern verschiedener Fachdisziplinen sein.
r einen einzelnen Wissenschaftler wird es immer schwerer,
unmöglich, umfassende Modelle aufzubauen, wie es Marx mit
inen Reproduktionsschemata gelang. Die Arbeit an solchen Pro-
[illegible]
sengebiete zusammensetzen, bewältigt werden.

Eine mögliche Zusammensetzung einer Gruppe, die ein Mikro-
ell erarbeitet, könnte folgende sein:

ystemanalytiker,

pezialist für die Technologie der Organisation von
roduktion und Leitung,

konom,

athematischer Analytiker,

rogrammierer.[1])

ie Einbeziehung eines Programmierers erfolgt, weil das
Vielzahl an Einflußgrößen, Beziehungen, Wechselwirkungen
nur noch in rechnergestützter Form effektiv erfolgen kann.
halb ist eine Umsetzung des Modells in eine dem Rechner zu-
gliche Form nötig. Hieraus erwachsen rückwirkend wiederum
derunger an den Modellaufbau, die an dieser Stelle nicht
ter untersucht werden.

t. Aufgrund der unterschiedlichen Zielstellungen der sozia-
ischen und der bürgerlichen Gesellschaft unterscheiden
auch die ökonomisch-mathematischen Modelle, die sozialen
esse abbilden bzw. zu ihrer Verbesserung beitragen sollen.

sammenfassend ist zur Klassifikation ökonomischer und
misch-mathematischer Modelle folgendes zu sagen:
onomische Modelle lassen sich in der auf S. 11 angege-
Form einordnen. Sie zeichnen sich durch einen gemeinsamen
uchungsgegenstand, ökonomische Prozesse und Erscheinungen,
ber gleichen Untersuchungsgegenstand haben ökonomisch-
atische Modelle, aber sie sind, wie aus ihrer Bezeichnung

[1]) Тихофеев и др.: Алгоритмизация в автоматизиро-

ervorgeht, mathematische Modelle.

Ihre Unterscheidungsmerkmale sieht der Verfasser in der rt und Genauigkeit der Wirklichkeitsabbildung (der objektiven Wa- ität, also beispielsweise in der Einbeziehung probabilistischer influßgrößen, der Dynamik eines Prozesses usw. sogenannt zur inzugefügt werden, daß sie sich auch nach ihrem Verwendungs- weckfestlegungs- und Planungsmodelle u.ä.) unterscheiden lassen. ieser Aspekt wurde hier nicht weiter untersucht.

n Abb. 18 sind die von uns für wesentlich erachteten Unter- cheidungsmerkmale ökonomisch-mathematischer Modelle dargestellt. ntersuchungen zur Klassifikation und Bedeutung dieser wich- igen Klasse ökonomisch-mathematischer Modelle, der Ver- lechtungsmodelle, finden sich bei Schulze [53].

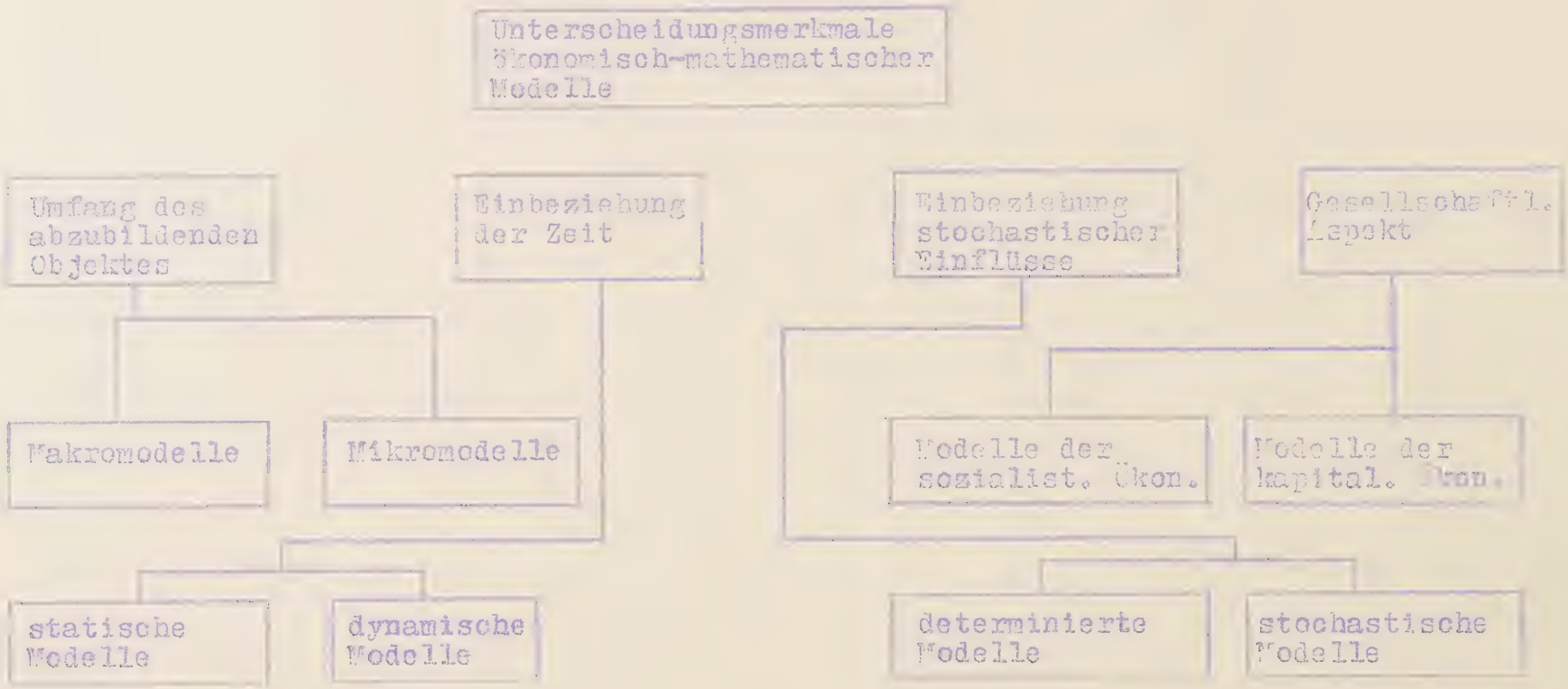

Unterscheidungsmerkmale ökonomisch-mathematischer Modelle
Umfang des abzubildenden Objektes
Einbeziehung der Zeit
Einbeziehung stochastischer Einflüsse
Gesellschaftl. Aspekt
Makromodelle
Mikromodelle
Modelle der sozialist. Ökon.
Modelle der kapital. Ökon.
statische Modelle
dynamische Modelle
determinierte Modelle
stochastische Modelle

Abb. 18

2.4 Ökonomisch-mathematisch-kybernetische Modellierung

2.4.1 Große Systeme

Seit einiger Zeit findet man immer öfter bei der Beschreibung ökonomischer Sachverhalte den Begriff "Großes System". Für diesen Begriff gibt es bis heute noch keine einheitliche Definition[1], zumal die [illegible] in Bezug auf die jeweilige Betrachtungsweise zu sehen ist.

Es lassen sich folgende Besonderheiten großer Systeme herauskristallisieren:

1. Jedes große System wird durch eine Ganzheit charakterisiert. Es besteht aus einer großen Zahl von Elementen bzw. Teilsystemen, deren Funktion zu einem gemeinsamen Ziel führen soll. Für die Erreichung dieses Zieles läßt sich eine Zielfunktion formulieren, auf deren Erfüllung die Funktionsweise jedes einzelnen Elementes bzw. Teilsystems gerichtet ist.

2. Die Elemente eines großen Systems sind so miteinander verbunden, daß Veränderungen in einem beliebigen Element Veränderungen in anderen Systemteilen hervorrufen können. Es ist eine große Zahl von Rückkopplungen vorhanden.

3. Timoteff[2] weist auf eine [illegible] großer Systeme hin. Außerdem ordnet er großen Systemen einen strukturellen und informationellen Überschuß zu. Dieser bewirkt, daß ein Verlust oder eine Veränderung einzelner Teilsysteme nicht immer zum Verlust des großen Systems selbst führt, sondern manchmal nur zum Sinken der Effektivität seiner Funktionsweise (Multistabilität).

---

1) Vgl. ebenda, S. 80 ff und a.a.O., S. 5 ff
2) Ebenda, S. 6

Der strukturelle Überschuß besteht im wesentlichen in der Reserve einzelner Elemente des großen Systems. Der informationelle Überschuß kann durch das Vorhandensein von Speicherelementen und eine Überzahl übereinstimmender [illegible] im System charakterisiert werden.

Große Systeme weisen die Fähigkeit zur ständigen Weiterentwicklung auf. In ökonomischen Systemen ist die höchstmögliche Entwicklung der schöpferischen Fähigkeiten des Menschen eine wichtige Bedingung für die effektive Funktionsweise und die Entwicklung der Systeme selbst.

Diesem letzten Punkt kommt eine besondere Bedeutung zu, da es sehr schwierig ist, die Fähigkeit ökonomischer Systeme zur Weiterentwicklung zu bewerten oder zu messen[1]. Allgemeine Gesetzmäßigkeiten einer Höherentwicklung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen lassen sich nur mit Hilfe einer gründlichen statistischen Analyse von umfangreichem und aussagekräftigem Datenmaterial aufdecken und beschreiben. Das aber führt bereits zum Einsatz mathematischer Methoden zum Aufbau ökonomisch-mathematischer Modelle, deren Bedeutung an dieser Stelle nochmals sichtbar wird.

Ihr Einsatz ist ganz besonders dann gerechtfertigt und sogar eine Voraussetzung, wenn elektronische Datenverarbeitungsanlagen zur Beherrschung bzw. zur Verbesserung der Arbeitsweise des großen Systems eingesetzt werden sollen. Das Ziel der Leitungsorgane großer Systeme in der Ökonomie liegt dabei in

---

1) Vgl. Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie, Nachschlagewerk, Berlin 1973, S. 81

er Automatisierung der Umwandlung riesiger Informationsmengen
nd in der Steuerung und Optimierung zu treffender Entscheidun-
en.

Nicht nur wegen der Begriffe System, Element, Funktion und
teuerung wurde der Zusatz kybernetische Betrachtungsweise gemacht,
ondern vor allem deshalb, weil es um die Untersuchung von
unktion, Verhalten und Entwicklung dieser Systeme geht.

.4.2 Automatisierte Systeme der Leitung

Für große Systeme mit einem gewissen Automatisierungs-
rad hat sich in Anlehnung an Arbeiten sowjetischer Wissenschaft-
er der Begriff des ASU eingebürgert. Unter einem ASU ist ein
utomatisiertes System der Steuerung bzw. Leitung von Prozessen
u verstehen.

Wegen der Mehrdeutigkeit des russischen "управление"
iegen unterschiedliche Deutungen des Begriffs ASU vor. Die
egenwärtigen ASU lassen sich unter Berücksichtigung ihres
utomatisierungsgrades, des Charakters ihrer Funktionsweise
nd in Abhängigkeit von den Methoden für die Ausarbeitung und
alisierung von Steueralgorithmen auf Digitalrechnern wie
lgt einteilen:[1)]

Nach dem Automatisierungsgrad in automatisierte und auto-
matische Systeme. Automatische Systeme weisen eine völlige
Automatisierung der Grundoperationen ihres Funktionsprozes-
ses auf. Der Mensch setzt die Anlagen im Bedarfsfalle in
bzw. außer Betrieb. In der Zeit zwischen Ein- und Ausschal-
ten arbeitet das System vollkommen selbständig. Automati-

---

1) Vgl. Тихомеев и др.: A. a. O., S. 7/8.

sierte Systeme bedürfen der kombinatorischen Mitarbeit des Menschen. Der rationelle Automatisierungsgrad eines großen Systems wird durch die Realisierbarkeit seiner maximalen Funktionseffektivität, den jeweiligen Entwicklungsstand der Technik und das Vorhandensein der erforderlichen Mittel und Einrichtungen bestimmt.

Der Weg zu automatischen Systemen führt über die automatisierten Systeme, deren Entwicklung gegenwärtig die größere Bedeutung zukommt.

. Nach dem Charakter ihrer Funktionsweise lassen sich ASU in regelmäßig (oder ununterbrochen) arbeitende und in unregelmäßig arbeitende Systeme einteilen.

. Entsprechend der Methoden für die Ausarbeitung und Realisierung von Steueralgorithmen auf Digitalrechnern werden drei Gruppen von ASU unterschieden.

is erste Gruppe enthält solche Systeme, die weitgehend automatisiert sind und die sich nur mit Hilfe der Rechentechnik ealisieren lassen, wenn ihre effektive Arbeitsweise angestrebt ird. Hierher gehören beispielsweise Beobachtungs- und Kontrollysteme für künstliche Erdsatelliten und Systeme für die Kontrolle und Steuerung des Luftverkehrs.

n die zweite Gruppe werden Systeme eingeordnet, bei denen die ege zur Formalisierung und Algorithmierung der Steuerungsrozesse, die von Rechnern auszuführenden Funktionen und die ffektivität für den Einsatz der Rechentechnik ausschlaggebend beannt sind. Beispiele für ASU dieser Gruppe können elektroergetische, Transport- und ähnliche Systeme sein.

Die dritte Gruppe umfaßt die Mehrzahl operativer Steuerungssysteme von Betrieben, Steuerungssysteme von Volkswirtschaftszweigen und anderen Einheiten der Volkswirtschaft. Bei der Ausarbeitung der Systeme dieser Gruppe treten große Schwierigkeiten (aufgrund des ökonomisch-mathematischen Modells in handgerechter Form) und technische (insbesondere Speicherkapazität der EDVA u.a.) Schwierigkeiten auf. Außerdem ist es oft kompliziert, Optimalitätskriterien also die Steuerung abzuleiten. Der Automatisierungsgrad ist im Vergleich zur ersten Gruppe gering.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Anwendung ökonomisch-mathematischer Modelle in Verbindung mit der Behandlung und Beherrschung großer Systeme und fortschreitend mit der Schaffung von ASV ständig wächst. Aus diesem Grunde kommt es darauf an, ökonomische Prozesse und Erscheinungen immer besser und genauer zu erfassen, die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen und damit einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung unserer Hauptaufgabe, der höchstmöglichen Befriedigung der materiellen und geistigen Bedürfnisse der Mitglieder unserer Gesellschaft zu leisten.

Anwendung des Analogieprinzips bei der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen

1 Der Begriff des Analogmodells

Das Wort Analogie hat seinen Ursprung in der griechischen rache, in welcher ανα - λογων soviel wie "gesetzmäßig" er "dem Verhältnis nach" bedeutet. Günther[1] verweist rauf, daß schon Cicero zwei Bedeutungen dieses Wortes erkannt ben muß, denn bei der Übersetzung ins Lateinische wählt er nmal comparatio, das heißt gleiches Verhältnis, an anderer lle dagegen proportio, das heißt ähnliches Verhältnis. Daraus nn geschlußfolgert werden, daß eine Analogie dann zwischen jekten der objektiven Realität besteht, wenn sich die Objekte ihren Eigenschaften oder in ihrer Struktur ähneln.

"Analogie kann als Verhältnisähnlichkeit definiert werden, ne Ähnlichkeit also, die sich nicht auf einzelne Eigenschaften oder Teile dieser Gegenstände, sondern auf das gegenseitige rhältnis zwischen Eigenschaften oder Teilen gründet. Die Einschaften oder Teile zweier Gegenstände können sehr verschien sein, und es kann doch eine Ähnlichkeit in dem Verhältnisse rer Eigenschaften oder ihrer Teile untereinander bestehen."[1]

Von Klaus wurden vier Ebenen möglicher Analogien zwischen jekten bzw. Systemen erarbeitet. Auf diese präzisere Definion wurde im Abschnitt 1.3.2 der vorliegenden Arbeit verwiesen.

R. Günther: Das Problem der Analogie zwischen wirtschaftlichen und elektrotechnischen Vorgängen. Dissertation, Mannheim 1957

Von Analogie- oder Analogmodellen wollen wir dann sprechen, enn wir das mathematische Modell eines ökonomischen Vorganges it Hilfe bestimmter technischer Mittel sichtbar machen, also en Ablauf ökonomischer Prozesse [illegible] eranschaulichen. Diese Festlegung ist im Sinn der von Klaus [illegible] vier Ebenen nicht umfassend (z.B. Fehlen von Struktur-ähnlichkeiten in bestimmten Fällen); sie soll uns lediglich ls Arbeitsdefinition für unsere weiteren Betrachtungen dienen.

Dabei ist es aufgrund der Veranschaulichung ökonomischer Sachverhalts erstens möglich, Analogmodelle in der Lehre als monstrationsmodelle zu benutzen, sie also beispielsweise r Ausbildung von Studenten zugänglich zu machen. Zweitens, eten sie die Möglichkeit des Experimentierens, die am Objekt lbst in den meisten Fällen nicht oder nur unter schwierigen dingungen gegeben ist. Sie lassen sich demnach auch für For-schungszwecke benutzen. Vor- und Nachteile der von uns darge-ellten Analogmodelle wollen wir in einem späteren Abschnitt tersuchen. Hier sei aber bereits darauf hingewiesen, daß wir sere Analogien zum Gebiet der Elektrotechnik herstellen. itere Analogmodelle wurden u.a. auf [illegible] und [illegible] scher Grundlage gebaut.

Der Vorteil der letztgenannten Möglichkeiten liegt darin, ß in solchen Modellen eintretende Veränderungen unmittelbar chtbar werden, zum Beispiel nach dem Prinzip verbundener fäße. In Modellen auf elektronischer [illegible] hingegen ssen Veränderungen mit Hilfe von Meßinstrumenten für den Un-rsuchenden sichtbar gemacht werden. Dennoch ging wegen des ringeren Aufwands die Richtung mehr zu elektrischen Modellen.

gegenwärtig Digitalrechner wesentlich verbreiteter, und es werden auf ihnen auch Probleme behandelt, die Analogrechnern unter Umständen leichter zugänglich wären. Die Ursachen hierfür können wir im Rahmen dieser Arbeit nicht untersuchen. Wir beschränken uns darauf, [illegible] einzuweisen.

6.2 Vor- und Nachteile der Anwendung des Analogieprinzips

Der grundlegende Unterschied von analoger und digitaler Darstellungsweise liegt darin, daß beim digitalen Rechnen die Daten in Form von Zahlen (gewöhnlich Dualzahlen) aufgenommen und ausgegeben werden und die Verarbeitung mit Hilfe der diskreten Ziffern Ø und L erfolgt, während im Analogfall die Eingangsgrößen in kontinuierliche physikalische Größen umgesetzt und in dieser Form verarbeitet werden. Solche kontinuierlichen physikalischen Größen sind zum Beispiel Längen, Spannungen und Ströme. Aus dem grundlegenden Unterschied wird ersichtlich, daß schon in dieser Darstellungsform Vor- und Nachteile liegen. Der eigentliche Verarbeitungsprozeß der eingegebenen Daten ist beim Digitalrechner nicht so zu veranschaulichen, daß der Verarbeitungsprozeß dem Ablauf des abgebildeten Prozesses entspricht. Sichtbar werden vielmehr die Ergebnisse des dargestellten Prozesses, dessen mathematisches Modell in [illegible]

Analogmodelle hingegen können so aufgebaut werden, daß der
h einem solchen Modell ablaufende Prozeß in verständlicher
rm für den Beobachter sichtbar wird. Dieses Sichtbarmachen
nn in zeitverlängerter Form (z.B. bei hydraulischen und pneu-
atischen Modellen) und in zeitverkürzter Form (über Meßinstrumen-
e bei elektrischen Modellen) erfolgen.

Hier liegt ein Vorteil von Analogmodellen, der also infolge
er Anschaulichkeit für Lehre und Ausbildung als nützlich er-
eisen kann.

Ein weiterer Vorteil, der unter gewissen zu untersuchenden Be-
ingungen für den Einsatz von Analogmodellen spricht, liegt in
m im Gegensatz zum digitalrechner unkomplizierten Form der
Dauerfassung und -eingabe. Es entfällt die Herstellung von Daten
f Lochkarten bzw. Lochstreifen, auch damit werden auch die ent-
rechenden Eingabegeräte überflüssig.

Es ist aber leicht einzusehen, daß dieser Vorteil nur dann
s Gewicht fällt, wenn die einzugebende Datenmenge noch über-
haupt ist und sich das mathematische Modell eines ökonomi-
hen Prozesses verhältnismäßig einfach in analoger Form dar-
ellen läßt.

Mit den vorstehend beschriebenen Modellen ist es nicht
glich, schriftliche Belege auszugeben. Das ist ohne Zweifel
n Nachteil, da interessierende Werte oder Tendenzen von der
m Versuch durchführenden Person festgehalten werden müssen.

Die Vorteile derartiger Analogmodelle auf elektrotechnischer
ndlage liegen aber in ihrer anschaulichen Darstellung des
ertigen Auswertungsvorganges, wodurch Zusammenhänge sofort
klich veranschaulicht werden können; und in der Möglichkeit,

ten ohne Zeitverzögerung einzugeben.

n Arbeit betrachtet wird, nur zur Darstellung relativ kleiner

oß, da aber oft Näherungswerte ausreichen, um bestimmte Ten-

nzen zu erkennen, wird das als kein Nachteil angesehen.

nauigkeit.

Mit Digitaleinrichtungen lassen sich (in der Praxis unter

g und dem Leistungsvermögen derselben bestimmt.

drahtwurzel an.

Auf einem Digitalrechner erfolgt die Lösung nach der

erungsformel

$$y_2 = \frac{1}{2}\cdot\left(y_1 + \frac{x}{y_1}\right).$$

dieser Näherungsformel sind:

x $\hat{=}$ Radikand

y_1 $\hat{=}$ 1.Näherungswert, der vorgegeben wird,

y_2 $\hat{=}$ 2.Näherungswert.

zu erreichende Genauigkeit wird eine Grenze für den Wert

erreichbare Genauigkeit von der Stellenzahl des Rechners

[illegible]
[illegible]
10 Stellen verfügen soll, möglich sind.

Bei Analogrechenanlagen ist die Genauigkeit zum einen durch die Leistungsfähigkeit der Anlage bestimmt, zum anderen sind durch Ablese- bzw. Meßgenauigkeit der erreichbaren Genauigkeit Grenzen gesetzt.

Wir stellen zusammenfassend fest, daß es sich nach Abwägungen [illegible] kann, Analogmodelle einzusetzen, wenn es darauf ankommt:

1. schnell Ergebnisse zu erhalten,
2. wenn keine zu große Genauigkeit gefordert wird
   und
3. [illegible]
   mit beobachtet werden sollen.

Diese Auffassung finden wir im Vorwort zur "Analogprogram- [illegible] heute in erster Linie einen Digitalrechner benutzen und u.U. eine gewisse Wartezeit in Kauf nehmen.

Will man aber lebendigen Kontakt mit dem zu untersuchenden System (das noch gar nicht real existieren muß!), so verwendet [illegible] analoges Denken und inspiriert ihn zu neuen Ideen bzw. Ver- [illegible]."[1]

---

1) Schwarz, W.: Analogprogrammierung, Leipzig 1971, S.4

Beispiels zu.

5.3 Nutzung elektrischer Schaltungen zur Modellierung

Wir gehend davon aus, daß die Untersuchungen eines ökonomi-
führten:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \quad . \qquad (1)$$

Wenn wir annehmen, daß durch die x_i $(i = 1,2,3)$ drei Abnehmer
eilung einer Warenmenge y unter die drei Abnehmer zum Inhalt
aben. Die a_i $(i = 1,2,3)$ stellen Gewichte oder Bewertungsfak-
oren dar und können

1. durch statistische Untersuchungen ermittelt,
2. von Praktikern aufgrund ihrer Erfahrungen geschätzt und
3. als bekannte Größen fest vorgegeben worden sein.

eitere Deutungen der Gleichung (1) sind möglich. Aus ihr lassen
ie erste besteht darin, daß die Ausgangsgröße y auf Grund der
eränderungen der Eingangsgrößen x_i ermittelt werden soll
ährend bei der zweiten y als bekannt vorgegeben wird und die

ie in Gleichung (1) enthaltenen Größen lassen sich demnach
e folgt definieren:

y -- Veränderliche, die 1. als Ausgangsgröße auf Grund der Änderungen der Eingangsgrößen x_i ermittelt wird oder

2. als bekannt vorausgesetzt wird (Eingangsgröße) zur Ermittlung der Größen x_i bzw. der Verhältnisse zwischen ihnen;

x_i - Eingangsgrößen im Fall 1 und Ausgangsgrößen im Fall 2;

a_i - Bewertungsfaktoren für die x_i.

Nehmen wir an, die Summe aller x_i sei konstant, und durch [illegible] für die Größe der x_i, sodaß eine Anzahl möglicher Varianten [illegible] sich zum einen aus praktischen Erfahrungen ergeben und zum anderen auf Grund objektiver Bedingungen vorliegen.

[illegible] n das gewünschte Ergebnis zu einer Lösung kommen kann, daß dieses Vorgehen aber unökonomisch und zeitaufwendig ist.

Deshalb schlagen wir für die Lösung ein Analogmodell vor, [illegible] jede Änderung einer Größe sofort sichtbar gemacht werden kann. [illegible] der Größe selbst, sondern die sich Folge hervorgerufenen Auswirkungen auf die anderen Größen können gezeigt werden.

Es wird also möglich, durch Versuche das bestmögliche Ergebnis zu finden. Dieses "Verfahren" führt in der Mehrzahl der Fälle sicherlich schneller zum Ziel, als es z.B. durch Einsetzen von Zahlenwerten in die zu lösende Gleichung möglich wäre, weil das Ergebnis ständig an einem geeigneten Meßinstrument abgelesen werden kann.

Wir stellen uns diesen Sachverhalt so vor:

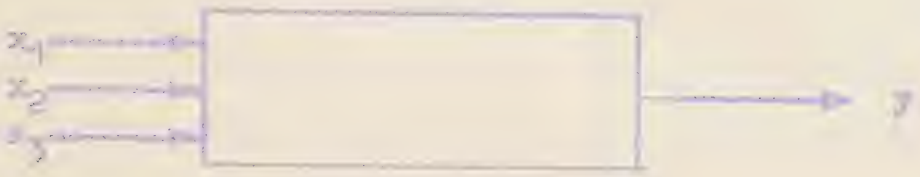


Abb. 19

Die Eingangsgrößen x_i sollen mit vorher bestimmten Koeffizienten a_i bewertet werden. Dafür ist folgende Anordnung möglich:

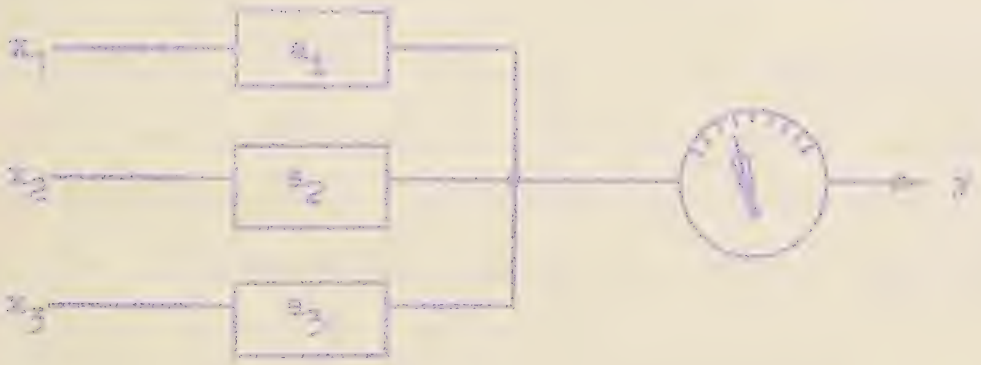


Abb. 20

Diese Anordnung stellt ein Modell dar, welches Gleichung (1) als mathematisches Modell widerspiegelt und aus dessen Verhalten Rückschlüsse auf das Original in Hinsicht auf dessen Verhalten unter bestimmten Bedingungen gezogen werden können.

Es erscheint uns wichtig, nochmals darauf hinzuweisen, daß mit Hilfe einer geeigneten Schaltung die Möglichkeit des Experimentierens gegeben ist. Das führt immer Überlegungen zu Erkenntnissen, die für die Verbesserung oder Veränderung des Originals wichtig sind.

Diese Meinung finden wir durch Tetelbaum /57 bestätigt, er schreibt: "Das heißt sagen, daß die Modellierung die Fortsetzung des Experiments mit anderen Mitteln darstellt und zwar mit solchen der Rechentechnik. Sie ist dort, wo zahlreiche Varianten zu vergleichen sind, ein unersetzliches Mittel zur Bestimmung der besten technischen Lösung".[1)]

Unsere nächste Aufgabe besteht im Aufbau einer elektrischen Schaltung, die unseren gestellten Anforderungen genügt. Die gewählten Schaltungen beruhen auf Gleichspannungsgrundlage, in ihnen gilt das Ohmsche Gesetz in der bekannten Form

$$U = I \cdot R.$$

Abhängig davon, ob eine Reihen- oder eine Parallelschaltung von Widerständen (elektrischen Verbrauchern) als Grundlage gewählt wird, machen wir uns eine Aufteilung der Gesamtspannung bzw. eine Aufspaltung des anliegenden Gesamtstroms zunutze.

3.3.1 Modellierung mit Hilfe von Reihenschaltungen

Liegen mehrere Widerstände (Verbraucher) derart in einem Stromkreis hintereinander, daß der Strom alle Widerstände nacheinander durchfließt, so wird diese Schaltung als Reihenschaltung bezeichnet. In einem solchen Stromkreis zeigt ein Strom-

---

1) Tetelbaum, I. M.: Elektronische Modelliermethoden, Berlin 1963, S.5

messer, gleichgültig, ob vor, zwischen oder hinter den Widerständen eingeschaltet, immer denselben Wert für die Stromstärke I an. Diesen Sachverhalt zeigt Abb. 21.

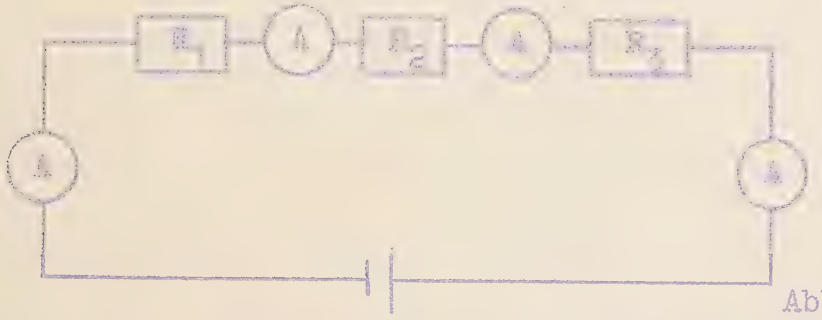


Abb. 21

Während die Stromstärke an jedem Punkt des Stromkreises gleich ist, bilden sich über den Widerständen Spannungsabfälle, die gemessen werden können. Wir wollen uns das an einem Beispiel deutlich machen:

Als Spannung legen wir 12 V fest, diese entspricht z.B. einer zur Verteilung kommenden Warenmenge. Für die Produkte aus Bewertungsfaktoren a_i und Abnehmern x_i wählen wir folgende Werte:

$a_1 x_1 = R_1 = 20$ Ohm,

$a_2 x_2 = R_2 = 40$ Ohm,

$a_3 x_3 = R_3 = 60$ Ohm.

Nach dem Berechnen der Stromstärke im Stromkreis lassen sich folgende Spannungsabfälle ermitteln:

$$I = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{12\ V}{120\Omega} = 0{,}1\ A$$

$U_1 = I \cdot R_1$, $\quad U_1 = 0{,}1 \cdot 20 = 2V$,

$U_2 = I \cdot R_2$, $\quad U_2 = 0{,}1 \cdot 40 = 4V$,

$U_3 = I \cdot R_3$, $\quad U_3 = 0{,}1 \cdot 60 = 6V$.

Wenn wir davon ausgehen, daß sich die Verhältnisse zwischen den einzelnen Größen verändern, müssen wir an Stelle von Festwiderständen regelbare Widerstände einsetzen. Beim Verändern eines Regelwiderstandes (Potentiometer) ändern sich sofort auch die Spannungsverteilungen über den anderen Widerständen.

Was aber bedeutet nichts anderes, als daß beim erhöhten Bedarf eines Abnehmers die anderen Abnehmer ihren Bedarf einschränken müssen, wenn wir von einem konstanten Bedarf ausgehen. Solche oder ähnliche Aufgabenstellungen lassen sich mit dem in Abb. 22 dargestellten Modell anschaulich durchspielen.

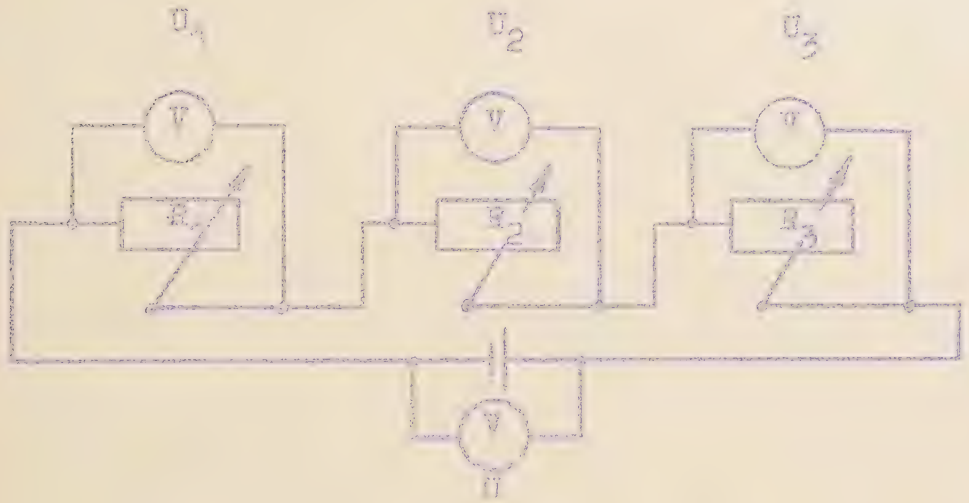


Abb. 22

Vor dem Arbeiten mit dem Modell ist es natürlich notwendig, die Meßgeräte entsprechend der jeweiligen Aufgabenstellung zu wählen. So sind solche Versuchsbedingungen zu schaffen, daß der Durchführende keine Spannungen, sondern beispielsweise Verbrauch oder Aufwände an den Skalen der Meßgeräte abliest.

3.3.2 Modellierung mit Hilfe von Parallelschaltungen

Kennzeichnend für die Parallelschaltung von Verbrauchern in einem Stromkreis ist, daß die gemeinsame Spannung an jedem Punkt des Stromkreises konstant ist, sich aber die Ströme verzweigen. Nach dem Kirchhoffschen Knotenpunktsatz ist die Summe der zu einem Knoten hinfließenden Ströme gleich der Summe der vom Knoten wegfließenden Ströme. Entsprechend der im vorhergehenden Abschnitt gemachten Aussagen über die notwendige Regelbarkeit der Widerstände finden wir die in Abb. 23 gezeigte Modellanordnung.

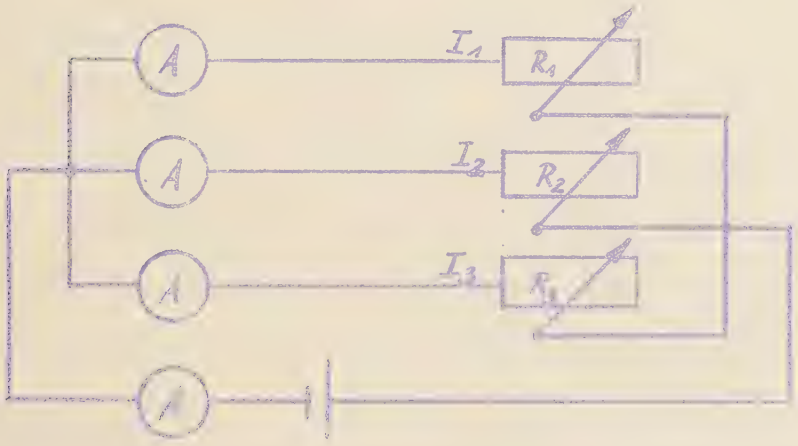


Abb. 23

Hier gilt immer: $I_{ges} = I_1 + I_2 + I_3$. Veränderungen eines Widerstandes führen sofort wieder zur Veränderung der einzelnen Teilströme und damit zur Möglichkeit des Experimentierens entsprechend der gegebenen Aufgabenstellung. In bezug auf das Einbauen der Meßinstrumente gilt das Gleiche, wie es für die Reihenschaltung gesagt wurde.

3.3.3 Das System ursadyn

Für beide (Spannungs- bzw. Stromsteuerung) Ausführungsbeispiele gilt, daß sie sich nur für wenige Verbraucherlinie eignen, weil sie sonst unübersichtlich werden und sich schaltungstechnisch schwer realisieren lassen. Bessere Möglichkeiten bieten die im System ursamat enthaltenen Bausteine und Funktionseinheiten des Systems ursadyn, die der Informationsübertragung und -verarbeitung dienen.

Das System ursamat soll zur Lösung verschiedenartigster Aufgaben der industriellen Automation beitragen. Es ist ein Maßsystemsystem und beinhaltet Meß-, Steuerungs- und Regeleinrichtungen. Die Geräte und Einrichtungen des Systems ursamat sind vielseitig kombinierbar. Das System wurde auf der Grundlage von DIN-Empfehlungen (Universales internationales System für die industrielle Überwachung, Regelung und Steuerung) der Ständigen Kommission für Maschinenbau des RGW erarbeitet.

Es umfaßt mehrere Gerätesysteme die wie folgt unterteilt sind:

1. Einrichtungen zur Informationsgewinnung - ursakont
   (Meßeinrichtungen zum Messen und Überwachen von Betriebsgrößen; Abbilden der Größen im angepaßten Wertebereich);
2. Elektrische Einrichtungen zur Übertragung und Verarbeitung von Informationen - ursatron
   (Bausteine, Funktionseinheiten und Einrichtungen zur Übertragung und Verarbeitung von Informationen. Die Elemente arbeiten mit elektrischer Hilfsenergie);
3. Pneumatische Einrichtungen zur Übertragung und Verarbeitung von Informationen - ursapneu

(Einrichtungen, die mit pneumatisch-analogen und -binären Signalen im Normaldruckbereich (0,2...1 kp/cm²) arbeiten);

4. Meßfühler mit Meldeausgang (Meldegeber) und Regler ohne Hilfsenergie - ursastat (Zur Regelung von Temperaturen, Drücken und Füllständen);

5. Einrichtungen zur Informationsnutzung - ursawirk (Nutzung der erfaßten und verarbeiteten Signale durch Einwirkung auf den zu steuernden oder zu regelnden Prozeß über Steuer- und Regeleinrichtungen).

Für uns ist das System ursadyn von besonderem Interesse. Es dient zur Übertragung und Verarbeitung von Informationen auf der Grundlage elektrischer Einrichtungen und gehört zum System ursatron.

Das Baukastensystem ursadyn umfaßt halbleiterbestückte Gleichspannungs- und Leistungsverstärker sowie Bausteine für die Signalisierung von Grenzwerten und die Auswahl von Extremwerten. Außerdem werden ihm Einrichtungen zur Netzversorgung von ursadyn- und ursalog-Bausteinen (arbeiten mit binären Signalen) zugeordnet.

Die Elemente des Systems ursadyn arbeiten nach dem Analogprinzip und werden zweckmäßig eingeteilt in

- elektronische Einheiten,
- elektromechanische Einheiten und
- Einheiten zur Stromversorgung.

Die Vorteile dieses Baukastensystems werden wie folgt begründet: "Ein Baukastensystem hat das Ziel, mit möglichst wenig Bausteinen, die rationell gefertigt werden können, möglichst alle Anwendungsfälle zu befriedigen. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn es gelingt, die Vielzahl der Anwendungsfälle zu systematisieren.
Die voneinander unterscheidbaren Anwendungsfälle haben gemeinsam, daß sie durch wenige mathematische Grundoperationen beschreibbar sind. Wird einer mathematischen Grundoperation ein Baustein bzw. eine Funktionseinheit zugeordnet, so sind für die Realisierung der Einsatzfälle der analogen Informationsverarbeitung nur sehr wenige Bausteine und Funktionseinheiten erforderlich."[1])

Kehren wir zu der in Abschnitt 3.3 formulierten Gleichung (1) zurück und betrachten sie etwas genauer. Sie stellt das Modell eines ganz bestimmten Sachverhaltes dar, dessen quantifizierbare Zusammenhänge in einem mathematischen Modell erfaßt wurden. Um zur Ausgangsgröße y zu gelangen, werden die multiplikativ mit Bewertungsfaktoren verknüpften Eingangsgrößen addiert.

Diese Multiplikationen und Additionen lassen sich auf verschiedene Art und Weise vornehmen. Wir stellen hier eine Schaltung nach dem System ursadyn vor, die uns das gewünschte Ergebnis liefern kann. Aus einem Prinzipschaltbild (Abb. 24) wird ersichtlich, daß die Eingangsgrößen x_1 durch entsprechende

---

1) Autorenkollektiv: ursamat Handbuch, Verlag Technik, Berlin 1969, S. 240

Spannungen U_i und die Bewertungsfaktoren a_i durch entsprechende Widerstände R_i ersetzt werden. Der Ausgangsgröße y entspricht dann die Ausgangsspannung U_a, die durch ein geeignetes Meßinstrument abgebildet werden kann.

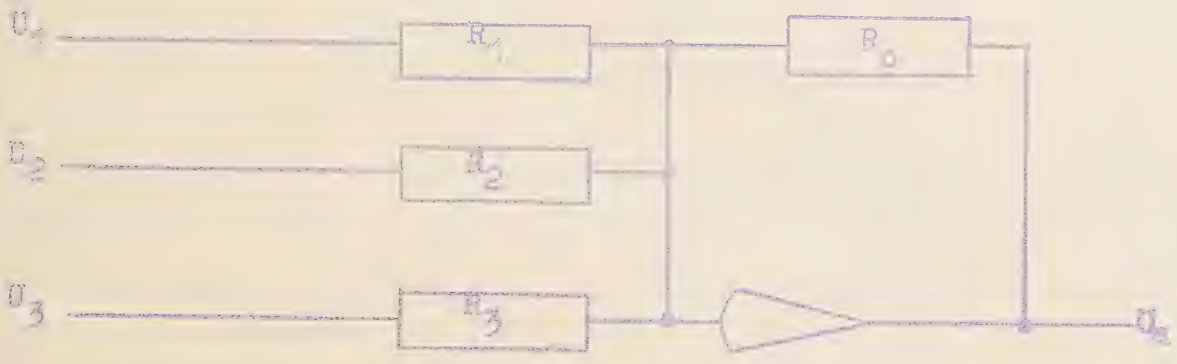


Abb. 24

Die in Abb. 24 gezeigte Prinzipschaltung stellt einen Summator dar, mit dem sich folgende Rechenoperation durchführen läßt:

$$U_a = -\left(U_1 \frac{R_0}{R_1} + U_2 \frac{R_0}{R_2} + U_3 \frac{R_0}{R_3}\right) \quad \text{oder}$$

$$U_a = -(U_1K_1 + U_2K_2 + U_3K_3).$$

Das in Abb. 24 gezeigte Prinzipschaltbild und die beiden Gleichungen wurden dem Handbuch ursamat entnommen.

Vergleichen wir nun Gleichung (1) mit der letztgenannten Gleichung, dann sehen wir, daß die letztere, wenn wir von dem negativen Vorzeichen einmal absehen wollen, tatsächlich der Gleichung (1) analog ist. Das negative Vorzeichen hat seine Ursache in der Art dieser Prinzipschaltung.

Änderungen der Eingangsgrößen x_i lassen sich im Modell durch Spannungsänderungen der U_i sichtbar machen. Die Bewertungsfak-

toren a_i können durch Verstellen der K_i nach Bedarf eingestellt werden, wobei natürlich die technischen Realisierungsmöglichkeiten berücksichtigt werden müssen.

Der letztgenannten Gleichung entnehmen wir, daß

$$K_i = \frac{R_c}{R_i} \quad \text{ist.}$$

Eine Änderung der K_i wird also durch Verändern von R_c oder R_i möglich. Je nachdem, ob alle K_i geändert werden sollen oder nur eines oder zwei, muß man sich für die entsprechende Möglichkeit entscheiden.

Für die technische Realisierung des betrachteten Beispiels und ähnlicher Fälle stehen Bausteine in Form von Summiernetzwerken und Universal-Summierplatten zur Verfügung. Diese Operationsnetzwerke ergeben in Verbindung mit Operationsverstärkern Summatoren zur Realisierung der durchzuführenden Rechenoperationen.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß mit der angedeuteten Schaltung die gegebene Aufgabenstellung modelliert werden kann. Da außerdem mehr Eingänge vorhanden sind, als das bei Parallel- und Reihenschaltungen wegen der Übersichtbarkeit sinnvoll wäre, wird auch der Anwendungsbereich breiter.

3.3.4 Möglichkeit der Modellierung einer Produktionsfunktion

Am Beispiel einer statistischen Produktionsfunktion soll gezeigt werden, daß es einmal sein kann, elektrische Analogmodelle der vorgestellten Art für ihre Auswertung zu benutzen. Es ist bekannt, daß bei der Herstellung von Erzeugnissen verschiedene Faktoren für den Ablauf der Produktion von Bedeutung verantwortlich sind.

Solche Faktoren sind zum Beispiel

- der Aufwand an Arbeitsgegenständen, der für die Herstellung des Produktes notwendig ist,
- der Aufwand an Arbeitsmitteln und
- der Aufwand an lebendiger Arbeit.

Kennzeichnend für diese Faktoren ist, daß sie wiederum aus mehreren Komponenten oder Teilgrößen bestehen bzw. von ihnen beeinflußt werden.

Die Mengenmaße der Faktoren lassen sich zahlenmäßig ausdrücken, wenn für alle Einflußkomponenten eine einheitliche Bemaßung gewählt wird. Nach Kobrinski [507] sind zwei unterschiedliche Maßsysteme möglich:

1. Messung von Faktoren der Produktion und Hilfsprodukten (z.B. in Tonnen, Stück, Meter, Arbeitsstunden und ähnlichen Dimensionen).
   Durch eine solche Bemaßung werden die gemessenen Faktoren in Form von Vorräten oder als Verbrauch erfaßt und ausgedrückt.

2. Messung in Intensitätseinheiten (z.B. in Meter/Sekunde, Stück/Sekunde und ähnlichen Einheiten).
Aufwände und die Erzeugung von Produkten werden auf Zeiteinheiten bezogen ausgedrückt.[1]

Für unsere weiteren Betrachtungen verwenden wir die zweite Form und führen folgende Bezeichnungen ein:

X - Intensität des Aufwandes an AG,

R - Intensität des Aufwandes an AM,

L - Intensität des Aufwandes an lebendiger Arbeit,

Z - Intensität der Erzeugung des Endproduktes.

Die Wirkungsweise dieser Intensitäten wird in Abb. 25 in Form einer "black box", eines schwarzen Kastens gezeigt.

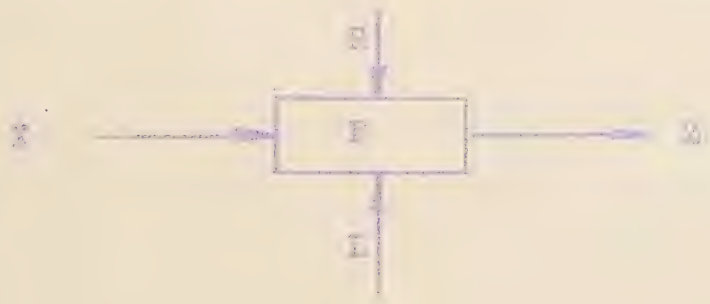


Abb. 25

Allgemein läßt sich eine Abhängigkeit der Intensität der Erzeugung des Endproduktes Z von den Intensitäten der Eingangsgrößen X, R, L angeben. Diese lautet in ihrer allgemeinsten Form

$$Z = f(X; R; L)$$

oder unter Einbeziehung der Parameter der Einzelgrößen

$$Z = F(X; R; L; \alpha_i).$$

---

1) Vgl. Н.Е. Кобринский: Основы экономической кибернетики, Москва 1969, S. 39 ff.

Beide Gleichungsformen werden als Produktionsfunktion bezeichnet. Derartige Funktionen basieren auf vielfaktoriellen statistischen Zusammenhängen und Abhängigkeiten zwischen bestehenden Veränderlichen. Bevor wir uns der Darstellung von Produktionsfunktionen mit Hilfe von Analogmodellen zuwenden, sind noch einige Bemerkungen notwendig.

Beim Aufstellen von Produktionsfunktionen geht man von der zahlenmäßigen Darstellung von Sachverhalten eines zu betrachtenden Zeitraumes aus; es können aber auch Ergebnisse experimenteller Untersuchungen, technische Normativen und Angaben von Sachverständigen zugrunde gelegt werden. In Übereinstimmung mit Kobrinski stellen wir folgende Anforderung an eine Produktionsfunktion:

Eine solche Funktion muß

1. der Logik des Produktionsprozesses gehorchen,
2. quantitative Veränderungen auf die Veränderlichen widerspiegeln und
3. für die weitere mathematische und zahlenmäßige Abarbeitung aufbereitet sein.

Sie baut auf einer Reihe getroffener Annahmen auf und gibt Abhängigkeiten wieder, die auf der Grundlage dieser Annahmen für einen bestimmten zurückliegenden Zeitraum ermittelt wurden.

Für die Darstellung einer Produktionsfunktion wird oft eine Abhängigkeit der Form

$$Z = a_0 \cdot x^{a_1} \cdot y^{a_2} \cdot z^{a_3}$$

gewählt, wobei die $a_j (j = 0,1,2,3)$ Parameter sind, die gewöhnlich auf Grund von Ausgangsmaterials nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet werden. In Logarithmenform nimmt die

eben angegebene Gleichung folgendes Aussehen an:

$$\log Z = \log \alpha_0 + \alpha_1 \log X + \alpha_2 \log L + \alpha_3 \log R.$$

Da im Verlauf eines Produktionsprozesses in der Regel alle drei Faktoren (X, L, R) vorkommen, ist die Wahl von Funktionen, in denen die Faktoren multiplikativ miteinander verknüpft sind, berechtigt. Beim Fehlen eines Faktors wird sofort die Ausgangsfunktion zu Null. Die Logarithmenform einer Produktionsfunktion ähnelt stark den Gleichungsformen, die wir im Punkt 4.3 der vorliegenden Arbeit beschrieben haben, nur daß hier Logarithmen addiert werden und es sich also um Exponenten des Logarithmus einer Zahl ergibt.

Demzufolge ist es auch möglich, die logarithmische Form einer Produktionsfunktion durch eine Schaltung abzubilden, die wir als elektrisches Analogmodell bezeichnet haben.

Dabei gehen wir folgendermaßen vor:

Wir [illegible] bekannt. Für die Veränderlichen X, L und R existieren einschränkende Bedingungen, für die Intensitäten ihrer Aufwände lassen sich Minima und Maxima angeben. Beispielsweise muß ein Minimum an lebendiger Arbeit bei der Herstellung eines Produktes geleistet werden, aber schon auf Grund des beschränkten Vorrates an Arbeitskräften sind diesem Aufwand Grenzen gesetzt.

Nach den Festlegen der Grenzen lassen sich die Produkte

$$\left\{ \alpha_1 \log X \right\}_{\text{Min}}^{\text{Max}}, \quad \left\{ \alpha_2 \log L \right\}_{\text{Min}}^{\text{Max}} \text{ und } \left\{ \alpha_3 \log R \right\}_{\text{Min}}^{\text{Max}}$$

bilden. Innerhalb dieser Bereiche müssen sich die jeweiligen Widerstände, die stellvertretend für die Produkte stehen, ver-

ändern lassen. Die Dimensionierung der Schaltung, also die Wahl der Widerstandswerte, der Spannung und der sich ergebenden Stromstärke hängt von den Werten für die a_i und den Grenzen für X, L und R ab. Denkbar ist folgende Schaltung:

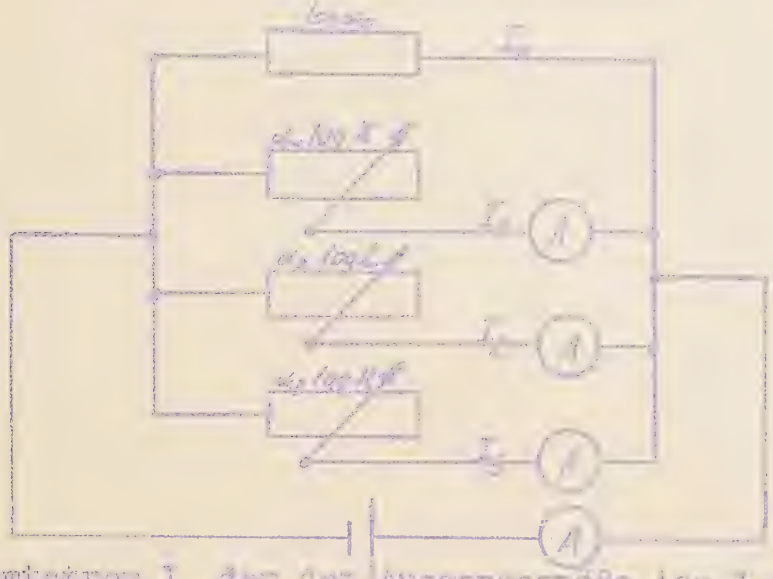


Abb. 26

Der Gesamtstrom I, der der Ausgangsgröße log Z analog ist, ergibt sich als

$$I = I_0 + I_1 + I_2 + I_3 .$$

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß wir stets mit den Logarithmen von Zahlenwerten arbeiten, läßt sich die von uns gewählte Form einer Produktionsfunktion durch ein elektrisches Analogmodell darstellen.

Dieses Modell ist dazu in der Lage, Veränderungen der Verhältnisse der Größen X, L und R bei unterschiedlichen Werten für Z wiedergeben. Damit wird es möglich, günstige Werte für diese Verhältnisse zu finden und auch dabei vorgegebene Einschränkungen zu berücksichtigen.

Auf keinen Fall darf von diesem vorgeschlagenen Modell eine Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit der auf statistischer Grundlage ermittelten Produktionsfunktion erwartet werden.

Das Modell gibt nur die Zusammenhänge eines mathematischen Modells wieder und kann nicht genauer als dieses selbst sein.

Die Vorteile des Einsatzes solcher Modelle liegen in ihrer Übersichtlichkeit und darin, daß die im Modell ablaufenden Vorgänge deutlich sichtbar gemacht werden können. Modelle dieser Art eignen sich nach Ansicht des Verfassers besonders für den Einsatz zu Lehrzwecken und unter Umständen für eine Prognostizierung kommender Zeiträume.

3.4 Anwendungsmöglichkeiten von Analogmodellen in Forschung und Lehre

Aus den vorausgegangenen Abschnitten wird ersichtlich, daß es dann sinnvoll ist, den untersuchten Typ von Analogmodellen aufzubauen, wenn relativ wenige Veränderliche in Verbindung miteinander stehen. Darunter sind drei bis vier Veränderliche als Höchstzahl zu verstehen. Der Grund hierfür liegt darin, daß bei mehr Veränderlichen eine Überschaubarkeit des Ganzen nicht mehr gewährleistet ist, wodurch das Modell stark an Wert verliert. Daraus ist zu schließen, daß der Anwendungsbereich solcher Modelle begrenzt ist, weil gerade in ökonomischen Prozessen und Erscheinungen meist wesentlich mehr Einflußgrößen vorhanden sind, die sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen und außerdem stochastischen Charakter aufweisen können.

Diese Prozesse und Erscheinungen können mit dem angegebenen Modelltyp nicht abgebildet werden oder präziser, das mathematische Modell dieser Vorgänge läßt sich mit derartigen Analogmodellen nicht wiedergeben.

Die getroffene Aussage gilt dann, wenn der gesamte Prozeß möglichst umfassend und detailgetreu abgebildet werden soll. Wenn wir uns aber den Modellaufbau so vorstellen, daß wir vom Einfachen zum Komplizierten fortschreiten, dann kann der Einsatz von Analogmodellen für den Untersuchenden sehr nützlich sein.

Mit Hilfe dieser Modelle kann er schnell Richtung und Tendenzen ableiten, die sich aus Veränderungen der Eingangsgrößen des Modells ergeben. Diese Modellkonstruktion kann zum

einem zur Lösung bestimmter Verhaltensweisen des Originals benutzt werden, zum anderen lassen sich aus dem Verhalten des Modells Rückschlüsse auf die entsprechenden Eigenschaften des modellierten Objekts ziehen.

Die Konfiguration der Verhaltensweise eines Objektes ist von großer Bedeutung. Sie läßt sich über das Modell realisieren. Das zur Verwendung kommende Analogmodell muß nicht dem in dieser Arbeit untersuchten Typ entsprechen . Zur Verhaltensbeschreibung bestimmter Sachverhalte können analoge Modelle ausreichen, die den Zustand eines ablaufenden Prozesses zu einem festgelegten Zeitpunkt abbilden. Es wurden schon Analogmodelle auf der Grundlage verbundener Gefäße erwähnt.

Bei einem solchen Modell lassen sich die Verbindungen der abgebildeten Größen entweder durch Änderungen von Volumina oder von Standhöhen der Flüssigkeiten darstellen. Bei der Verwendung von Flüssigkeitsgefäßen als analoge Größen lassen sich ohne Schwierigkeiten auch Verzögerungen des Originals im Modell wiedergeben. An einem Beispiel wollen wir diese Möglichkeit erläutern.

Im Sozialismus ist der Preis der planmäßige Geldausdruck für den Wert einer Ware. Der Betriebspreis setzt sich aus den Selbstkosten und dem Betriebsgewinn zusammen. Die Komponenten der Selbstkosten sind Abschreibungen, Materialkosten und Lohnkosten. Die Senkung der Selbstkosten bei gleichbleibenden Preis bringt für den Betrieb eine Erhöhung des Gewinns. Materialeinsparungen und Verringerung der Abschreibungen tragen dazu bei, die Selbstkosten zu senken. Diese Maßnahmen liegen im Interesse jedes Betriebes und entsprechen der Wirtschaftspolitik unseres Staates.

In Abb. 27 ist eine Anordnung von vier verschiedenen Gefäßen dargestellt, mit deren Hilfe gezeigt wird, die Auswirkungen der Veränderung einer oder mehrerer Selbstkostenkomponenten auf den Betriebsgewinn zeigen.

Als Voraussetzung gelten:

1. Der Preis bleibt während der Versuchsdurchführung konstant, d.h. Selbstkosten + Gewinn = konstant.
2. Die Selbstkostenkomponenten bestimmen diesmal nicht.
3. Es gilt: A + Mk + Lk + G = P, mit

   A = Abschreibungen,

   Mk = Materialkosten,

   Lk = Lohnkosten,

   G = Gewinn,

   P = Preis.

Der Preis entspricht im Modell einer vorgegebenen Flüssigkeitsmenge, die sich auf die einzelnen Gefäße aufteilt. Die Gefäße sind flexibel miteinander verbunden und vertikal verschiebbar. Hinter den Gefäßen ist eine Meßskala angebracht.

Abb. 27

Flüssigkeit verteilt sich auf alle 4 Gefäße, in 1, 3 und 4 stehen 10,25 Skt Flüssigkeit, in 2 aber 9,25 Skt. Wegen Viererwechsel 2 fließt aber in den Gefäßen 1 und 3 keine Veränderungen des Flüssigkeitsstandes ein. Das wird durch Abnehmen des Gefäßes 4 um einen Skt erreicht. Danach stehen in den Gefäßen 1 und 3 je 10 Skt Flüssigkeit, in Gefäß 2 aber 9 Skt und 11 Skt im Gefäß 4.

Dieses Modell läßt sich auch bei einer größeren Zahl von Veränderlichen anwenden. Wenn sich mehrere Variable ändern, müssen die Änderungen im Modell nacheinander ausgeführt werden, weil das Modell sonst nicht mehr überschaubar ist.

Dieser Modelltyp eignet sich ebenso wie die vorgestellten Anzeigegeräte auf elektrischer Grundlage zur Darstellung ökonomisch-mathematischer Modelle. Da mehr oft 4 bis 5 Veränderliche schon ausreichen, um bestimmte Tendenzen einer mathematischen Beschreibung sichtbar zu machen, können sie in der Praxis wertvolle Hilfsmittel sein.

Weitere Einsatzmöglichkeiten für solche Modelle sieht der Verfasser auf dem Gebiet der Lehre und Ausbildung. Die deutliche Veranschaulichung bestehender Zusammenhänge kann in geeigneter Form zur Erhöhung der Effektivität des Lernprozesses beitragen. Dieser Erkenntnis wurde bereits früher Rechnung getragen.

Schon 1966 berichtet der "Bote der Moskauer Universität"[1] über ein pneumatisches Analogmodell der erweiterten Reproduk-

1) Вестник Московского университета, серия VII, экономика 6/1966

tion. Dieses Modell wurde auf Grund zahlenmäßiger Zusammenhänge der erweiterten Reproduktion aufgebaut, dio mathematische Formulierung stammtvon W.S. Dadajan. Das Modell wird als Illustration des Mechanismus der erweiterten Reproduktion, die Marx im 2. Band des "Kapital" behandelt, betrachtet. Es kann als anschauliches Milfsmittel für die Studierenden bei der Behandlung des entsprechenden Stoffes in der politischen Ökonomie und im Fach "Modellierung volkswirtschaftlicher Prozesse"

Unter diesem Aspekt soll auch der Aufbau und Einsatz der beschriebenen Typen von Analogmodellen gesehen werden.

der Studierenden sein.

4. Schlußbetrachtungen

Das Anliegen der vorliegenden Arbeit besteht darin, einen Beitrag zur Anwendung von Modellen in der Ökonomie zu leisten.

Im ersten Teil der Arbeit beschäftigt sich der Verfasser mit den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Modellbegriffs.

Allen Modellen ist die Eigenschaft gemeinsam, daß sie in [illegible] in bestimmter Form abgebildet. Auf der Grundlage des Modells lassen sich [illegible] tischen Prozesses. Die Bedeutung von Modellen reicht heute [illegible] mehr auch Eingang in die Gesellschaftswissenschaften. Wegen [illegible] wissenschaftlichen Disziplinen zu suchen.

Nach einem kurzen historischen Abriß der Entwicklung von Modellen wird der Versuch unternommen, Modellmerkmale herauszuarbeiten, die allen Modellen gemeinsam sind.

Diese Modellmerkmale sind: Inhalt, Typus, Ziel, Bestimmung, Material und Wechselbeziehung zwischen Modell und Original. Sie lassen sich nicht losgelöst voneinander betrachten, sondern

bilden eine Einheit.

Nach Ansicht des Verfassers bieten diese Merkmale die Möglichkeit, alle Modelle nach ihnen einzuordnen. In einer Tabelle (Abb. 6) werden für jedes der Merkmale einige Möglichkeiten angegeben. Die Merkmale müssen als Ganzes betrachtet werden, weil sie zum Teil miteinander verknüpft sind. Zum Beispiel bedingen Inhalt, Ziel und Bestimmung eines Modells in [illegible] wird.

[illegible] teils der Nomenklatur der Akademie der Wissenschaften der UdSSR (Abschnitt 1.3.5). Für den Begriff der Funktion eines [illegible] einer Klaus'schen Modellklassifikation (Abschnitt 1.3.4).

Unseres Erachtens ist die Erarbeitung der genannten sechs Modellmerkmale sinnvoll, weil sie auf alle Modelle übertragbar bzw. weil diese Merkmale allen Modellen gemeinsam sind.

Im zweiten Teil der Arbeit wird ausgehend von der Notwendigkeit [illegible] gen der Weg von den klassischen Modellen der Ökonomie bis zu den aktuellen Problemen automatisierter Systeme der Leitung (ASU) gezeigt.

Es ist notwendig, die sozialistische Wirtschaft so zu entwickeln, daß die weitere Vervollkommnung der Leitung und Planung zu einer planmäßigen proportionalen Entwicklung der [illegible] lich-technische Fortschritt stellt ständig höhere Anforderungen

an die Produktion, die Erhöhung der Effektivität der gesellschaftlichen Produktion aber bestimmt das Tempo der ökonomischen Entwicklung. Deshalb hängt das Ergebnis des Leitungs- und Planungsprozesses der Volkswirtschaft davon ab, wie genau und umfassend die objektiven Prozesse erfaßt und gewonnene Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt werden.

Für die Erfassung der Prozesse und die Umsetzung der Erkenntnisse ist der Einsatz von Modellen unbedingt notwendig. Da es um qualitative und quantitative Betrachtungsweisen ökonomischer Erscheinungen geht, spielen mathematische Methoden eine hervorragende Rolle bei der Bildung von Modellen, die als ökonomisch-mathematische Modelle bezeichnet werden.

Von den klassischen Modellen der Ökonomie werden das "Tableau economique" von F. Quesnay und die Marxsche Reproduk-

Modelle vorgestellt. Im Punkt 2.3.3 wird anhand der Merkmale: Umfang des abzubildenden Objektes, Einbeziehung der Zeit, Einbeziehung stochastischer Einflüsse und gesellschaftlicher Aspekt eine Einordnung dieser Modelle vorgenommen.

der Anwendung von Modellen sehr sorgfältig gearbeitet werden . Ein mechanisches Übertragen des Modells eines bekannten Vorganges auf einen scheinbar ähnlichen Vorgang in einem anderen Wissensgebiet kann ohne gründliches Studium der Voraussetzungen zu schweren Fehlern führen. Diese Fehler bewirken beim

den werden, weil bei allen ökonomischen Erscheinungen der Mensch unmittelbar am Prozeßablauf beteiligt ist.

Besondere Bedeutung kommt den ökonomisch-mathematischen Modellen zu, die zum Experimentieren am Modell, dem Durchspielen von Varianten u.ä. geeignet sind. Sie ermöglichen risikolose Experimente, deren Ergebnisse bei entsprechender Übereinstimmung von Modell und Original in die Praxis übertragbar sind. Derartige Modelle sind in manchen Fällen Bestandteil der automatisierten Systeme der Leitung (ASÜ). Diese Systeme werden am Ende des zweiten Teils behandelt. Sie sind große Systeme mit einem gewissen Automatisierungsgrad. Weil für große Systeme bisher noch keine einheitliche Definition vorliegt, stellt der Verfasser vier Besonderheiten großer Systeme (Abschnitt 2.4.1) heraus.

In Verbindung mit der Behandlung und Beherrschung großer Systeme wächst die Bedeutung ökonomisch-mathematischer Modelle ständig. Es kommt darauf an, ökonomisch Prozesse und Erscheinungen immer besser und genauer zu erfassen und die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen.

Deshalb wird im dritten Teil der vorliegenden Arbeit die Anwendung des Analogieprinzips bei der Modellierung ökonomischer Prozesse und Erscheinungen gezeigt. Die vorgestellten [illegible] lichen damit den Ablauf ökonomischer Prozesse. Die im dritten Teil behandelten Modelle arbeiten auf der Grundlage elektri-

stände widergespiegelt.

Von einer allgemeinen Aufgabenstellung ausgehend, wird die Modellierung mit Hilfe von Reihen- und Parallelschaltung elektrischer Verbraucher gezeigt. Ausführungen zum Baukastensystem ursadyn vervollständigen die Darstellung elektrischer Analogmodelle. Am Beispiel einer Produktionsfunktion wird gezeigt, wie sich ein derartiges mathematisches Modell mit Hilf des Analogieprinzips modellieren läßt.

Der Punkt 3.4 des dritten Teils befaßt sich mit den Anwendungsmöglichkeiten von Analogmodellen in Forschung und Lehre. Es wird herausgestellt, daß Analogmodelle unter Beachtung ihrer Eigenschaften besonders dann geeignet sind, wenn schnell Ergebnisse erhalten werden sollen. Da sehr oft vier bis fünf Veränderliche ausreichen, um bestimmte Sachverhalte darzustellen, können Analogmodelle für diese Problemstellungen wertvolle Hilfsmittel zur Erkenntnisgewinnung sein. Um zu zeigen, daß als analoge Größen auch Längen oder Volumina Verwendung finden können, wird ein Analogmodell beschrieben, das auf der Grundlage verbundener Gefäße arbeitet.

Zusammenfassend wird eingeschätzt, daß sich Analogmodelle in Forschung und Lehre einsetzen lassen, wobei ihnen als Funktions- und Demonstrationsmodelle bei der Ausbildung Studierender eine besondere Bedeutung zukommt.

In Zukunft sollte weiter an der Problematik des Einsatzes von Analogmodellen gearbeitet werden. Dabei muß, wie bei jeder Modellierung, die Frage nach einer sinnvollen Anwendung im Vordergrund stehen. Die Analogmodelle können nie bessere Ergebnisse als das mathematische Modell eines Prozesses bringen.

In jedem Falle stellen sie aber bei zweckentsprechendem Einsatz wertvolle Hilfsmittel zur Erkenntnisgewinnung und -vermittlung dar.

Literaturverzeichnis

[1] Entwurf des Programms der SED
ND vom 14.1.1976

[2] Entwurf der Direktive des IX.Parteitages der SED zur Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR 1976-1980
ND vom 15.1.1976

[3] Dokumente des VIII. Parteitages der SED
Dietz Verlag, Berlin 1971

[4] Adler, H.
Elektronische Analogrechner
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1968

[5] Anikin, A.W.
Ökonomen aus drei Jahrhunderten
Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1974

[6] Autorenkollektiv
Ökonomisches Lexikon in 2 Bänden
Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1970

[7] Autorenkollektiv
Lexikon A-Z in 2 Bänden, Enzyklopädie
Volkseigener Verlag, Leipzig 1956

[8] Autorenkollektiv
Основы теории подобия и моделирования
Издательство „Наука", Москва 1973

[9] Mathematik-Kybernetik-Ökonomie
Aktuelle Probleme
III. Internationale wissenschaftliche Tagung MKÖ
Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1974

[10] Autorenkollektiv
ursamat Handbuch
Verlag Technik, Berlin 1969

[11] Багриновский, К. А.
Модели и методы экономической кибернетики
Издательство „Экономика", Москва 1973

[12] Баторов, К. Б.
Кибернетика и метод аналогий
„Высшая школа", Москва 1974

[13] Burkhardt, F.
Marx und die Mathematik
in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität
zu Berlin, Heft G6/1968

[14] Cournot, A.
Untersuchungen über die mathematischen Grund-
lagen der Theorie des Reichtums
Verlag von Gustav Fischer
Jena 1924

[15] Dadajan, W.S.
Ökonomische Berechnungen nach dem Modell der erweiterten Reproduktion
Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1969

[16] Engels, F.
Dialektik der Natur
in: Marx/Engels Werke, Bd. 20, Dietz Verlag, Berlin 1971

[17] Fedorenko, N.P., Maiminas, E.S., Tscheremnych, Ju.N., Tschernjak, Ju.I.
Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie
Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1973

[18] Gieck, K.
Technische Formelsammlung
Kurt Gieck Verlag, Heilbronn/N. 1969

[19] Глинский, В.А. и др.
Моделирование [illegible]
Издательство „Наука", Москва 1965

[20] Günther, R.
Das Problem der Analogie zwischen wirtschaftlichen und elektrotechnischen Vorgängen
Inauguraldissertation
Wirtschaftshochschule Mannheim 1957

[21] Гутштейн, А. И.
Кибернетика

[22] Hämmerling, W.
Analyse einiger makroökonomischer Modelle bezüglich der Widerspiegelung des Reproduktionsprozesses
Diplomarbeit an der Sektion Wirtschaftswissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin 1973
(unveröffentlicht)

[23] Hager, K.
Die 'Dialektik der Natur' von Friedrich Engels und ihre aktuelle Bedeutung
in: "Humboldt-Universität", Berlin, Nr. 16 (1975/76)

[24] Klaus, G., Buhr, M.
Philosophisches Wörterbuch
VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1964

[25] Klaus, G., Buhr, M.
Philosophisches Wörterbuch in 2 Bänden
VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1974

[26] Klaus, G.
Wörterbuch der Kybernetik
Dietz Verlag, Berlin 1967

[27] Klaus, G.
Kybernetik in philosophischer Sicht
Dietz Verlag, Berlin 1961

[28] Klaus, G.

Kybernetik und Gesellschaft

VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1973

[29] Kloos, R.

Kybernetisches System operative Planung der materiellen Produktion

Institut für Schienenfahrzeuge, Berlin 1968

[30] Кобринский, Н. Е.

Основы экономической кибернетики

Издательство „Экономика", Москва 1965

[31] Koller, H.

Simulation und Planspieltechnik

Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler,

Wiesbaden 1969

[32] Kotow, I.W.

Mathematische Methoden in der Ökonomie und politische

Ökonomie des Sozialismus

Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1974

[33] Kovacs, M.

Rechenautomaten und logische Spiele

VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1970

[34] Krelle, W.

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

Duncker & Humblot, Berlin 1959

[35] Lange, O.
Ganzheit und Entwicklung in kybernetischer Sicht
Akademie Verlag, Berlin 1967

[36] Lange, O.
Einführung in die ökonomische Kybernetik
Akademie Verlag, Berlin 1968

[37] Lenin, W.I.
Zur sogenannten Frage der Märkte
in: Werke, Bd. 1
Dietz Verlag, Berlin 1971

[38] Ljapunow, A.A.
Über einige allgemeine Fragen der Kybernetik
in: Probleme der Kybernetik, Bd. 1
Akademie Verlag, Berlin 1962

[39] Ljapunow, A.A., Jablonski, S.W.
Theoretische Probleme der Kybernetik
in: Probleme der Kybernetik, Bd. 6
Akademie Verlag, Berlin 1966

[40] Marx, K.
Das Kapital, Bd. 1-3
Dietz Verlag, Berlin 1951

[41] Marx, K.
Lohn, Preis und Profit
in: Marx/Engels Werke, Bd. 16
Dietz Verlag, Berlin 1962

[42] Marx, K.

Briefe über das "Kapital" an F. Engels

in: Marx/Engels Werke, Bd. 33

Dietz Verlag, Berlin 1966

[43] Морозов, К. Е.

Математическое моделирование в научном познании

Издательство „Мысль", Москва 1969

[44] Nalimow, W.W.

Der Einfluß der mathematischen Statistik und der Kybernetik auf die Methodologie wissenschaftlicher Forschungen

in: Sowjetwissenschaft, Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge, Heft 8/1971

[45] Nemtschinow, W.S.

Ökonomisch-mathematische Methoden und Modelle

Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1965

[46] Neumann, Th.

Der elektronische Analogrechner als Hilfsmittel bei der Lösung betriebswirtschaftlicher Probleme - dargestellt am Beispiel der Optimierungs- und Simulationsprobleme

Inauguraldissertation an der Ludwig-Maximilian-Universität zu München

[47] Otto, C.

Zur Stellung mathematischer Methoden und Verfahren in der Ökonomie

in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Heft G5/1971

[48] Otto, C.
Fünf Thesen zur Nutzung mathematischer Methoden und Verfahren in der ökonomischen Theorie und Praxis
in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Heft G5/1973

[49] Павлова, Л. С.
Электрический аналог модели расширенного воспроизводства
in: Вестник Московского университета, Heft 6/1976

[50] Peschel, M.
Kybernetik und Automatisierung
Reihe Automatisierungstechnik
VEB Verlag Technik, Berlin 1969

[51] Pfanzagl, J.
Über die Anwendung mathematischer Methoden in den Wirtschaftswissenschaften
in: "Metrika" 2/1964
Physica Verlag Wien-Würzburg

[52] Schmerbach, H.-J.
Vorstellungen über Analogmodelle zur Veranschaulichung ökonomischer Sachverhalte
in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Heft G5/1973

[53] Schulze, E.
Probleme der Modellierung von materiellen und finanziellen Verflechtungen
Dissertation an der Sektion Wirtschaftswissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin, 1975

[54] Schwarz, W.
Analogprogrammierung
VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1971

[55] Stoff, V.A.
Modellierung und Philosophie
Akademie Verlag, Berlin 1969

[56] Stranzky, R.
Kybernetik ökonomischer Reproduktion
Verlag Die Wirtschaft, Berlin 1966

[57] Tetelbaum, I. M.
Elektronische Analogierechenverfahren
VEB Verlag Technik, Berlin 1963

[58] Тимофеев, Б. Б. и. др.
Алгоритмизация в автоматизированных системах управления
Издательство „Техника", Киев 1972

[59] Веников, В. А.
Некоторые методологические вопросы моделирования
in Вопросы философии 11/1964

[60] Wüstneck, K.D.
Zur philosophischen Verallgemeinerung und Bestimmung des Modellbegriffs
in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Heft 12/1963

Zur Problematik der Modellierung in der Ökonomie mit Hilfe von Analogmodellen

Thesen

zur

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr. oec.)

vorgelegt

der Gesellschaftswissenschaftlichen Fakultät
des Wissenschaftlichen Rates
der Humboldt-Universität zu Berlin

von Diplom-Ingenieur Hans-Jürgen [illegible]

Dekan: Prof. Dr. sc. John L e k s c h a s

Berlin, im März 1976

Die Entwicklung von Natur und Gesellschaft [illegible] einem einheitlichen und äußerst komplexen [illegible], in welchem der Mensch mit seinen Fähigkeiten und Fertigkeiten die wichtigste Produktivkraft für den gesellschaftlichen Fortschritt verkörpert, [illegible] sich objektiv die Notwendigkeit des Zusammenwirkens von Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Der Marxismus-Leninismus als theoretisches und politisch-ideologisches Instrument der Arbeiterklasse und ihrer Partei bei der Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft [illegible] wesentliche Voraussetzungen, [illegible] Natur-, Gesellschafts- und technischen Wissenschaften [illegible] in der Praxis durchzusetzen [illegible] die Wirksamkeit jeder einzelnen Disziplin und der Wissenschaft als Ganzes durch koordiniertes Vorgehen zu erhöhen.[1]

[illegible]

Die Erarbeitung naturwissenschaftlicher, mathematischer und kybernetischer Grundlagen ist ein Schwerpunkt der Grundlagenforschung und dient der effektiven Beherrschung materieller als formalisierbarer geistiger Prozesse sowie einer zunehmenden Automatisierung in vielen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens als entscheidende Voraussetzung für eine rationellere Gestaltung dieser Prozesse.

1.1. Die Erarbeitung dieser Grundlagen dient der weiteren Vervollkommnung der Leitung und Planung der sozialistischen Volkswirtschaft, ihrer planmäßigen proportionalen Entwicklung und damit einer hohen Effektivität des volkswirtschaftlichen Reproduktionsprozesses und somit letztendlich dem Ziel, einen Beitrag zur Lösung der auf dem VIII. Parteitag der SED beschlossenen Hauptaufgabe zu leisten.

1.2. Ökonomische Prozesse und Erscheinungen sind durch eine große Komplexität und Kompliziertheit gekennzeichnet. Sie sind nur schwer in ihrer Gesamtheit erfaßbar.

Für den Prozeß der Erkenntnisgewinnung in der Ökonomie stellen Modelle und in besonderem Maße ökonomisch-mathematische Modelle wertvolle Hilfsmittel dar.

Ein Modell ist Ergebnis einer erkenntnistheoretischen Untersuchung. Durch das Modell wird ein Teil der [illegible] abgebildet.

2.1. Die erkenntnistheoretische Funktion eines Modells besteht darin, daß sich aus der Untersuchung seiner Eigenschaften Aussagen über das [illegible] Original und die Gesetzmäßigkeiten der objektiven Realität machen lassen.

2.2. Die Bedeutung von Modellen beschränkt sich nicht auf den naturwissenschaftlichen Bereich. In zunehmendem Maße finden Modelle als [illegible] erkenntnistheoretisch-[illegible] Prozesse auch Eingang in die Gesellschaftswissenschaften.

3. Modelle werden durch die Merkmale Inhalt, Typus, Ziel, Bestimmung, Material und die Wechselbeziehung zwischen Modell und Original charakterisiert. Diese Merkmale sind dialektisch miteinander verbunden und bilden eine Einheit.

4. Ein Modell muß folgenden Anforderungen genügen:

- Dem Modellaufbau liegt ein Abstraktionsprozeß zugrunde. Die beim Modellbau gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, Wesentliches vom Unwesentlichen zu trennen.

  Das Modell vertritt das modellierte Objekt entsprechend dem Abstraktionsprozeß, der beim Modellieren vollzogen wurde.

- Aus dem Modell lassen sich Rückschlüsse auf die entsprechenden Eigenschaften des modellierten Objektes ziehen.

[illegible] dieses Modells gewonnenen Erkennt-
[illegible] es, das modellierte Objekt [illegible]

Struktur, Verhalten, Funktion usw. zu verbessern.

5. Gegenstand von Modellen in der Ökonomie sind ökonomische Prozesse und Erscheinungen. Den gleichen Untersuchungsgegenstand haben ökonomisch-mathematische Modelle. Sie können qualitativ erfaßbare Erscheinungen und Prozesse der Ökonomie quantitativ widerspiegeln.

6. Gesicherte ökonomisch-mathematische Modelle können zur Verbesserung der Leitung und Planung objektiver ökonomischer Prozesse genutzt werden.

Sie [illegible] der Aufstellung von Varianten und schaffen mithin Voraussetzungen für ei[illegible] und Planungstätigkeit.

[illegible] großer und komplizierter Modelle und läßt eine schnelle Auswertung dieser Modelle zu.

7. Entsprechend der Widerspiegelung der objektiven Realität werden ökonomisch-mathematische Modelle unterschieden nach

- dem gesellschaftlichen Aspekt, der die unterschiedlichen Zielstellungen der sozialistischen und der bürgerlichen Gesellschaft berücksichtigt,
- dem Umfang des abzubildenden Objektes in Makro- und Makromodelle,

- der Einbeziehung [illegible]
  lierung in [illegible]
- der Einbeziehung [illegible]
  terminierte und [illegible]

8. Ein wichtiges [illegible] bei der Erkenntnisgewinnung können Analogmodelle sein. In ihnen wird das mathematische Modell untersuchter Vorgänge mit technischen Mitteln sichtbar gemacht.
Die Variablen der mathematischen Modelle werden durch kontinuierliche physikalische Größen wie Ströme, Spannungen und Längen dargestellt.
In der Ökonomie bieten Analogmodelle die Möglichkeit des Einsatzes als Demonstrationsmodelle zu Lehr- und [illegible]
delle.

9. Der Einsatz von Analogmodellen erweist sich als [illegible]
[illegible]
gebnisse besitzen keine sehr hohe Genauigkeit. Sie genügen aber, um sich über den Verlauf des modellierten Prozesses zu orientieren.

Das Herstellen von Analogien darf nicht mit dem mechanischen Übertragen des Modells eines bekannten [illegible] werden. Ein derartiges Übertragen [illegible] ein gründliches Studium der Voraussetzungen zu

schweren Fehlern führen.

11. Die in der Dissertationsschrift erarbeiteten Analogmodelle haben einfache elektrische Schaltungen, die mit Gleichspannung arbeiten, als Grundlage. Die Modellierung erfolgt:

- Mit Hilfe von Reihenschaltungen Ohm'scher Widerstände;
- durch Parallelschaltung Ohm'scher Widerstände,
- mit Hilfe von im System ursomat enthaltenen Bausteinen des Systems ursadyn.

  Die Elemente des Systems ursadyn arbeiten nach dem Analogprinzip und werden in elektrische Einheiten, elektromechanische Einheiten und Einheiten zur Stromversorgung eingeteilt.

12. Bei der Herstellung von Produkten sind verschiedene Faktoren für den Ablauf der Produktion verantwortlich. Wenn

- Intensität des Aufwandes an AG,
- Intensität des Aufwandes an AM,
- Intensität des Aufwandes an lebendiger Arbeit,
- Z - Intensität der Erzeugung des Endproduktes,
- α_i - Parameter der Einflußgrößen ($i = 0,1,2,3$)

bedeuten, läßt sich formulieren:

$$Z = f(X;R;i)$$

12.1. Unter Einbeziehung der Parameter der Einflußgrößen ist die Gleichung

$$Z = F(X;R;I;\alpha_i)$$

ein ökonomisch-mathematisches Modell des Produktionsprozesses. Die Gleichung wird als Produktionsfunktion bezeichnet, für welche oft eine Abhängigkeit in der Form

[illegible]

gewählt wird.

12.2. Die logarithmierte Form dieser Funktion

$$\log Z = \log\alpha_0 + \alpha_1 \log X + \alpha_2 \log R - \alpha_3 \log R$$

entspricht dem mathematischen Modell

$$Y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 .$$

für das in der Arbeit die analoge Modellierung gezeigt wurde.

13. Der Einsatz von Analogmodellen, denen einfache elektrische Schaltungen zugrundeliegen, ist sinnvoll, wenn nur wenige Veränderliche in Wechselwirkung miteinander stehen.

13.1. Bei einer größeren Zahl von Veränderlichen läßt sich die Wirkungsweise dieser Modelle nicht mehr überblicken.

13.2. Analogmodelle dieses Typs können als Bausteine für die Untersuchung und Beherrschung großer Systeme eingesetzt werden.

14. Der Einsatz von Modellen, die ökonomische Prozesse

und Erscheinungen widerzuspiegeln, gewinnt sie für der Untersuchung von Großen Systemen weiter an Bedeutung. Große Systeme zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Jedes Große System wird durch eine Ganzheit charakterisiert. Es besteht aus einer großen Zahl von Elementen bzw. Teilsystemen, deren Arbeitsweise einem gemeinsamen Ziel untergeordnet ist. Für die Erreichung dieses Zieles läßt sich eine Zielfunktion formulieren, auf deren Erfüllung die Funktionsweise jedes einzelnen Elementes bzw. Teilsystems gerichtet ist.
- die Elemente eines Großen Systems sind so miteinander verbunden, daß eine Veränderung oder ein
- Systeme weisen eine hierarchische Steuerungsstruktur auf. Sie besitzen die Eigenschaft, mul-
zu sein.

Untersuchung und Beherrschung mit der Schaffung automatisier-

mathematischer Modelle ständig zu. Es kommt darauf an, ökonomische Prozesse und Erscheinungen immer besser und genauer zu erfassen, die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen und damit einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung unserer Hauptaufgabe, der höchstmöglichen Befriedigung der materiellen und geistigen Bedürfnisse der Mitglieder unserer Gesellschaft zu leisten.